

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1. TINJAUAN UMUM**

Perencanaan pada suatu proyek membutuhkan kajian pustaka yang merupakan pedoman untuk perencanaan. Dalam perencanaan *flyover* perlu dilakukan kajian pustaka untuk mengetahui dasar-dasar teorinya guna mengatasi masalah lalu-lintas pada ruas jalan tersebut dan juga untuk evaluasi pengaruh lalu lintas pada ruas jalan yang bersangkutan. Aspek-aspek ruas jalan yang dipengaruhi kondisi lalu lintas, yaitu tingkat pelayanan, kelas jalan dan kebutuhan lajur. Hal ini untuk memperoleh hasil perencanaan yang optimal dan akurat

Aspek-aspek yang perlu ditinjau dan dibahas dalam perencanaan *flyover* adalah :

1. Aspek lalu-lintas
2. Perencanaan geometri *flyover*
3. Perencanaan struktur
4. Penyelidikan tanah

#### **2.2. ASPEK LALU LINTAS**

##### **2.2.1. Klasifikasi Jalan**

Klasifikasi fungsional seperti dijabarkan dalam UU Republik Indonesia No.38 tahun 2004 Tentang Jalan (pasal 7 dan 8) dan dalam Standar Perencanaan Geometrik Jalan Perkotaan 1992 dibagi dalam dua sistem jaringan yaitu:

1. Sistem Jaringan Jalan Primer

Sistem jaringan jalan primer disusun mengikuti ketentuan peraturan tata ruang dan struktur pembangunan wilayah tingkat nasional, yang menghubungkan simpul-simpul jasa distribusi sebagai berikut :

- Dalam kesatuan wilayah pengembangan menghubungkan secara menerus kota jenjang kesatu, kota jenjang kedua, kota jenjang ketiga, dan kota jenjang di bawahnya.

- Menghubungkan kota jenjang kesatu dengan kota jenjang kesatu antara satuan wilayah pengembangan.

Fungsi jalan dalam sistem jaringan primer dibedakan sebagai berikut :

a. Jalan Arteri Primer

Jalan arteri primer menghubungkan kota jenjang kesatu yang terletak berdampingan atau menghubungkan kota jenjang kesatu dengan kota jenjang kedua.

Persyaratan jalan arteri primer adalah :

- Kecepatan rencana minimal 60 km/jam.
- Lebar jalan minimal 8 meter.
- Kapasitas lebih besar daripada volume lalu lintas rata-rata.
- Lalu lintas jarak jauh tidak boleh terganggu oleh lalu lintas ulang alik, lalu lintas lokal dan kegiatan lokal.
- Jalan masuk dibatasi secara efisien.
- Jalan persimpangan dengan pengaturan tertentu tidak mengurangi kecepatan rencana dan kapasitas jalan.
- Tidak terputus walaupun memasuki kota.
- Persyaratan teknis jalan masuk ditetapkan oleh menteri.

b. Jalan Kolektor Primer

Jalan kolektor primer menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang kedua atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang ketiga.

Persyaratan jalan kolektor primer adalah :

- Kecepatan rencana minimal 40 km/jam.
- Lebar jalan minimal 7 meter.
- Kapasitas sama dengan atau lebih besar daripada volume lalu lintas rata-rata.
- Jalan masuk dibatasi, direncanakan sehingga tidak mengurangi kecepatan rencana dan kapasitas jalan.
- Tidak terputus walaupun memasuki kota.

### c. Jalan Lokal Primer

Jalan lokal primer menghubungkan kota jenjang kesatu dengan persil atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan persil atau menghubungkan kota jenjang ketiga dengan di bawahnya, kota jenjang ketiga dengan persil atau di bawah kota jenjang ketiga sampai persil.

Persyaratan jalan lokal primer adalah :

- Kecepatan rencana minimal 20 km/jam.
- Lebar jalan minimal 6 meter.
- Tidak terputus walaupun melewati desa.

## 2. Sistem Jaringan Jalan Sekunder

Sistem jaringan jalan sekunder disusun mengikuti ketentuan tata ruang kota yang menghubungkan kawasan-kawasan yang mempunyai fungsi primer, fungsi sekunder kesatu, fungsi sekunder kedua dan seterusnya sampai perumahan. Fungsi jalan dalam sistem jaringan jalan sekunder dibedakan sebagai berikut :

### a. Jalan Arteri Sekunder

Jalan arteri sekunder menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder kesatu atau menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kesatu atau kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kedua.

Berikut persyaratan jalan arteri sekunder :

- Kecepatan rencana minimal 30 km/jam.
- Lebar badan jalan minimal 8 meter.
- Kapasitas sama atau lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata.
- Lalu lintas cepat tidak boleh terganggu oleh lalu lintas lambat.
- Persimpangan dengan pengaturan tertentu, tidak mengurangi kecepatan dan kapasitas jalan.

### b. Jalan Kolektor Sekunder

Jalan kolektor sekunder menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder kedua atau kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga.

Berikut persyaratan jalan kolektor sekunder :

- Kecepatan rencana minimal 20 km/jam.
- Lebar badan jalan minimal 7 meter.

c. Jalan Lokal Sekunder

Jalan lokal sekunder menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan perumahan, kawasan sekunder kedua dengan perumahan, menghubungkan kawasan sekunder ketiga dengan kawasan perumahan dan seterusnya.

Berikut persyaratan jalan lokal sekunder :

- Kecepatan rencana minimal 10 km/jam.
- Lebar badan jalan minimal 5 meter.
- Persyaratan teknik diperuntukkan bagi kendaraan beroda tiga atau lebih.
- Lebar badan jalan tidak diperuntukkan bagi kendaraan beroda tiga atau lebih, minimal 3,5 meter.

### 2.2.2. Tipe Jalan

Tipe jalan ditentukan sebagai jumlah lajur dan arah pada suatu ruas jalan dimana masing-masing memiliki karakteristik geometrik jalan yang digunakan untuk menentukan kecepatan arus bebas dan kapasitas jalan sebagai berikut (MKJI, 1997):

1. Jalan Satu Arah (1-3/1)

- Lebar jalan 7 meter.
- Lebar bahu paling sedikit 2 meter pada setiap sisi.
- Tanpa median.
- Hambatan samping rendah.
- Ukuran kota 1-3 juta penduduk.
- Digunakan pada alinyemen datar.

2. Jalan Dua Lajur-Dua Arah (2/2 UD)

- Lebar jalan 7 meter.
- Lebar bahu paling sedikit 2 meter pada setiap sisi.
- Tanpa median.

- Pemisah arus lalulintas adalah 50-50.
- Hambatan samping rendah.
- Ukuran kota 1-3 juta penduduk.
- Digunakan pada alinyemen datar.

### 3. Jalan Empat Lajur-Dua Arah (4/2)

#### a. Tanpa Median (*undivided*)

- Lebar lajur 3,5 meter (lebar lajur lalulintas total 14 meter).
- Jarak antara kerb dan penghalang terdekat pada trotoar  $\geq 2$  meter dari rintangan jalan.
- Tanpa median.
- Pemisah arus lalulintas adalah 50-50.
- Hambatan samping rendah.
- Ukuran kota 1-3 juta penduduk.
- Digunakan pada alinyemen datar.

#### b. Dengan Median (*divided*)

- Lebar lajur 3,5 meter (lebar lajur lalulintas total 14 meter).
- Jarak antara kerb dan penghalang terdekat pada trotoar  $\geq 2$  meter dari rintangan jalan.
- Dengan median.
- Pemisah arus lalulintas adalah 50-50.
- Hambatan samping rendah.
- Ukuran kota 1-3 juta penduduk.
- Digunakan pada alinyemen datar.

### 4. Jalan Enam Lajur-Dua Arah dengan Median (6/2 D)

- Lebar lajur 3,5 meter (lebar lajur lalulintas total 21 meter).
- Kerb (tanpa bahu).
- Jarak antar penghalang terdekat pada trotoar  $\geq 2$  meter.
- Median pemisah arus lalulintas adalah 50-50.

### 2.2.3. Volume Lalulintas (Q)

Volume lalu lintas adalah banyaknya kendaraan yang melintas suatu titik di suatu ruas jalan pada interval waktu tertentu yang dinyatakan dalam satuan kendaraan atau satuan mobil penumpang (smp). Satuan volume lalulintas yang umum dipergunakan sehubungan dengan penentuan jumlah lebar lajur adalah :

#### 1. Lalulintas Harian Rata-rata

Lalulintas harian rata-rata adalah volume lalulintas rata-rata dalam satu hari. Dari cara memperoleh data tersebut dikenal 2 jenis lalulintas harian rata-rata yaitu lalulintas harian rata-rata tahunan (LHRT) dan lalulintas harian rata-rata (LHR). LHRT adalah jumlah lalulintas kendaraan rata-rata yang melewati satu jalur jalan selama 24 jam dan diperoleh dari data selama satu tahun penuh.

$$\text{LHRT} = \frac{\text{Jumlah Lalu Lintas Dalam Satu Tahun}}{365}$$

Untuk mengisi nilai LHRT berdasarkan umur rencana yang ada maka digunakan rumus :

$$\text{LHR}_n = \text{LHR}_0 \times (1 + i)^n$$

Dimana :  $\text{LHR}_n$  = Lalu lintas harian rata-rata tahun ke-n

$\text{LHR}_0$  = Lalu lintas harian pada awal tahun rencana

$i$  = Faktor pertumbuhan (%)

$n$  = Umur rencana

Pada umumnya lalulintas jalan raya terdiri dari campuran kendaraan berat dan kendaraan ringan, cepat atau lambat, motor atau tak bermotor, maka dalam hubungannya dengan kapasitas jalan (jumlah kendaraan yang melewati 1 titik/1 tempat dalam satuan waktu) mengakibatkan adanya pengaruh dari setiap jenis kendaraan tersebut terhadap keseluruhan arus lalulintas. Pengaruh ini diperhitungkan dengan mengekivalenkan terhadap kendaraan standar.

#### 2. Volume Jam Perencanaan

Volume jam perencanaan (VJP) adalah prakiraan volume lalulintas pada jam sibuk rencana lalulintas dan dinyatakan dalam smp/jam. Arus rencana

bervariasi dari jam ke jam berikut dalam satu hari, oleh karena itu akan sesuai jika volume lalu lintas dalam 1 jam dipergunakan. Volume 1 jam yang dapat digunakan sebagai VJP haruslah sedemikian rupa sehingga :

- Volume tersebut tidak boleh terlalu sering terdapat pada distribusi arus lalu lintas setiap jam untuk periode satu tahun.
- Apabila terdapat volume lalu lintas per jam melebihi VJP, maka kelebihan tersebut tidak boleh mempunyai nilai yang terlalu besar.
- Volume tersebut tidak boleh mempunyai nilai yang sangat besar, sehingga akan menyebabkan jalan menjadi lengang.

VJP dapat dihitung dengan rumus :

Untuk jalan-jalan 2 jalur :

$$VJP = LHR_n \times \left( \frac{K}{100} \right)$$

Untuk jalan-jalan berjalur banyak :

$$VJP = LHR_n \times \left( \frac{K}{100} \right) \times \left( \frac{D}{100} \right)$$

dimana :      VJP            = Volume jam rencana (SMP/jam).  
                   LHR<sub>n</sub>        = Lalu lintas harian rata-rata pada tahun ke n  
                   (SMP/hari).

K                = Koefisien puncak (%), merupakan perbandingan volume lalu lintas pada jam ke-13 dibagi dengan LHR tahunan dan bila tidak diketahui dalam data diambil nilai 10 %.

D                = Koefisien arah (%) merupakan hasil pengamatan di lapangan, bila tidak diketahui dalam data dapat diambil nilai 60 %.

Berdasarkan jenis hambatannya dibagi dalam 2 tipe :

1. Tipe I        : Pengaturan jalan masuk secara penuh.
2. Tipe II       : Sebagian atau tanpa pengaturan jalan masuk

Tabel 2.1 Jalan Tipe-I

Fungsi		Kelas
Primer	Arteri	1
	Kolektor	2
Sekunder	Arteri	3

Tabel 2.2 Jalan Tipe-II

Fungsi	LHR (dalam SMP)		Kelas
Primer	Arteri	-	1
	Kolektor	> 10.000	1
		< 10.000	2
Sekunder	Arteri	> 20.000	1
		< 20.000	2
	Kolektor	> 6.000	2
		< 6.000	3
	Jalan Lokal	> 500	3
		< 500	4

Sumber : Perencanaan Geometrik untuk Jalan, Bina Marga, 1992

Untuk menentukan lebar dari suatu jalan sesuai dengan tipe dan kelasnya dapat dilihat pada table-table sebagai berikut :

Tabel 2.3 Penentuan Lebar Jalur Lalu lintas

Kelas Perencanaan	Kelas	Lebar lajur Lalu-lintas (m)
Tipe-I	Kelas-1	3,5
	Kelas-2	3,5
Tipe-II	Kelas-1	3,5
	Kelas-2	3,25
	Kelas-3	3,0 - 3,25

Tabel 2.4 Penentuan Lebar Minimum Bahu Kiri/Luar

Kelas perencanaan		Lebar bahu kiri/luar (m)			
		Tidak ada Trotoar			Ada Trotoar
		Standar minimum	Pengecualian Umum	Lebar yang diinginkan	
Tipe	Kelas				
I	1	2,0	1,75	3,25	
	2	2,0	1,75	2,5	
II	1	2,0	1,50	2,5	0,5
	2	2,0	1,50	2,5	0,5
	3	2,0	1,50	2,5	0,5
	4	0,5	0,50	0,5	0,5



Tabel 2.5 Penentuan Lebar Minimum Bahu Kanan/Dalam

<b>Kelas perencanaan</b>		<b>Lebar bahu kanan/dalam (m)</b>
Tipe - I	Kelas - 1	1,00
	Kelas - 2	0,75
Tipe - II	Kelas - 1	0,50
	Kelas - 2	0,50
	Kelas - 3	0,50
	Kelas - 4	0,50

Sumber : Perencanaan Geometrik untuk Jalan, Bina Marga, 1992

Tabel 2.6 Penentuan Lebar Minimum Median

<b>Kelas perencanaan</b>		<b>Lebar minimum standar (m)</b>	<b>Lebar minimum khusus (m)</b>
Tipe - I	Kelas - 1	2,5	2,5
	Kelas - 2	2,0	2,0
Tipe - II	Kelas - 1	2,0	1,0
	Kelas - 2	2,0	1,0
	Kelas - 3	1,50	1,0

Sumber : Perencanaan Geometrik untuk Jalan, Bina Marga, 1992

#### 2.2.4. Arus dan Komposisi Lalulintas

Arus lalulintas adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik pada ruas jalan tertentu persatuan waktu, yang dinyatakan dalam kend/jam ( $Q_{kend}$ ) atau smp/jam ( $Q_{smp}$ ). Pada MKJI 1997, nilai arus lalulintas ( $Q$ ) mencerminkan komposisi lalulintas. Semua nilai arus lalulintas (per arah dan total) di konversikan menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan menggunakan ekivalensi mobil penumpang (emp) yang diturunkan secara empiris untuk tipe kendaraan sebagai berikut:

Tabel 2.7  
Pembagian Tipe Kendaraan

<b>Tipe Kendaraan</b>	<b>Kode</b>	<b>Karakteristik Kendaraan</b>
Kendaraan ringan	LV	Kendaraan bermotor beroda empat dengan gandar berjarak 2 - 3 m (termasuk kendaraan penumpang, oplet, mikro bis, pick up dan truk kecil)
Kendaraan berat menengah	MHV	Kendaraan bermotor dengan dua gandar yang berjarak 3,5 - 5 m (termasuk bus kecil, truk dua as dengan enam roda)
Truk besar	LT	Truk tiga gandar dan truk kombinasi dengan jarak antar gandar < 3,5 m
Bus besar	LB	Bus dengan dua atau tiga gandar dengan jarak antar gandar 5 - 6 m
Sepeda motor	MC	Sepeda motor dengan dua atau tiga roda (meliputi sepeda motor dan kendaraan roda tiga)
Kendaraan tak bermotor	UM	Kendaraan bertenaga manusia atau hewan di atas roda (meliputi sepeda, becak, kereta kuda dan kereta dorong)

(Sumber : MKJI, 1997)

a. Nilai Konversi Kendaraan

Dalam MKJI, 1997 definisi dari emp (ekivalensi mobil penumpang) adalah faktor yang menunjukkan berbagai tipe kendaraan dibandingkan kendaraan ringan sehubungan dengan pengaruhnya terhadap kecepatan kendaraan ringan dalam arus lalulintas (untuk mobil penumpang dan kendaraan ringan yang sasisnya mirip,  $emp = 1,0$ ) dan definisi dari smp (satuan mobil penumpang) adalah satuan untuk arus lalulintas dimana arus berbagai tipe kendaraan diubah menjadi arus kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan (emp) yang diturunkan secara empiris untuk tipe kendaraan berikut (MKJI, 1997):

- Kendaraan ringan (LV) meliputi mobil penumpang, minibus, pick up, truk kecil, jeep atau kendaraan bermotor dua as beroda empat dengan jarak as 2,0-3,0 m (klasifikasi Bina Marga).
- Kendaraan berat (HV) meliputi truk dan bus atau kendaraan bermotor dengan

jarak as lebih dari 3,50 m. Biasanya beroda lebih dari empat (klasifikasi Bina Marga).

- Sepeda motor (MC) merupakan kendaraan bermotor beroda dua atau tiga (klasifikasi Bina Marga).

Menentukan ekivalensi mobil penumpang (emp) berdasarkan MKJI, 1997, seperti yang terlihat pada tabel 2.3 dan 2.4 berikut ini :

Tabel 2.8

emp Untuk Jalan Perkotaan Tak Terbagi

Tipe Jalan : Tak Terbagi	Arus Lalu Lintas Total Dua Arah (kend/jam)	emp		
		HV	Lebar Jalur Lalu Lintas Wc (m)	
			$\leq 6$	$> 6$
Dua lajur tak terbagi (2/2 UD)	$0 \geq 1800$	1,3	0,5	0,4
		1,2	0,35	0,25
Empat lajur tak terbagi (4/2 UD)	$0 \geq 1800$	1,3	0,40	
		1,2	0,25	

(Sumber : MKJI, 1997)

Tabel 2.9

emp Untuk Jalan Perkotaan Terbagi dan Satu Arah

Tipe Jalan : Jalan Satu Arah dan Jalan Terbagi	Arus Lalu Lintas per lajur (kend/jam)	emp	
		HV	MC
Dua lajur dan satu arah (2/1) dan empat lajur terbagi (4/2 D)	$0 \geq 1800$	1,3	0,4
		1,2	0,25
Tiga lajur dan satu arah (2/1) dan enam lajur terbagi (4/2 D)	$0 \geq 1800$	1,3	0,4
		1,2	0,25

(Sumber : MKJI, 1997)

#### b. Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana adalah kecepatan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan yang memungkinkan kendaraan-kendaraan bergerak dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca yang cerah, lalu lintas yang lengang dan pengaruh samping jalan yang tidak berarti.

Faktor-faktor yang mempengaruhi penentuan besarnya kecepatan rencana adalah :

- Keadaan medan (*Terrain*)

Untuk menghemat biaya tentu saja perencanaan jalan sebaiknya disesuaikan dengan keadaan medan. Sebaliknya fungsi jalan sering kali menuntut perencanaan jalan tidak sesuai dengan kondisi medan dan sekitar, hal ini dapat menyebabkan tingginya volume pekerjaan tanah. Keseimbangan antara fungsi jalan dan keadaan medan akan menentukan biaya pembangunan jalan tersebut. Untuk jenis medan datar, kecepatan rencana lebih besar daripada jenis medan perbukitan atau pegunungan dan kecepatan rencana jenis medan perbukitan lebih besar daripada jenis medan pegunungan.

- Sifat dan Penggunaan Daerah

Kecepatan rencana yang diambil akan lebih besar untuk jalan luar kota daripada jalan perkotaan. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dapat direncanakan dengan kecepatan tinggi, karena penghematan biaya operasi kendaraan dan biaya lainnya dapat mengimbangi tambahan biaya akibat diperlukannya tambahan biaya untuk pembebasan tanah dan biaya konstruksinya. Tapi sebaliknya jalan dengan volume lalu lintas rendah tidak dapat direncanakan dengan kecepatan rencana rendah, karena pengemudi memilih kecepatan bukan berdasarkan volume lalu lintas saja, tetapi juga berdasarkan batasan fisik, yaitu sifat kendaraan pemakai jalan dan kondisi jalan.

Tabel 2.10

Penentuan Kecepatan Rencana

<b>Tipe</b>	<b>Kelas</b>	<b>Kecepatan Rencana (km/jam)</b>
Tipe I	Kelas 1	100 ; 80
	Kelas 2	80 ; 60
Tipe II	Kelas 1	60
	Kelas 2	60 ; 50
	Kelas 3	40 ; 30
	Kelas 4	30 ; 20

(Sumber : MKJI, 1997)

### 2.2.5. Kapasitas

Kapasitas dapat didefinisikan sebagai arus lalu lintas maksimum yang dapat dipertahankan (tetap) pada suatu bagian dalam kondisi tertentu misalnya rencana geometrik, lingkungan, komposisi, lalu lintas dan sebagainya (MKJI, 1997). Kapasitas dinyatakan dalam smp/jam. Oleh karena itu, kapasitas tidak dapat dihitung dengan formula yang sederhana. Yang penting dalam penilaian kapasitas adalah pemahaman akan kondisi yang berlaku.

#### 1. Kondisi Ideal

Kondisi ideal dapat dinyatakan sebagai kondisi yang mana peningkatan jalan lebih lanjut dan perubahan kondisi cuaca tidak akan menghasilkan pertambahan nilai kapasitas.

#### 2. Kondisi Jalan

Kondisi jalan yang mempengaruhi kapasitas meliputi :

- a. Tipe fasilitas atau kelas jalan.
- b. Lingkungan sekitar (misalnya antara kota atau perkotaan).
- c. Lebar lajur/jalan.
- d. Lebar bahu jalan.
- e. Kebebasan lateral (dari fasilitas pelengkap lalu lintas).
- f. Kecepatan rencana.
- g. Alinyemen horisontal dan vertikal.
- h. Kondisi permukaan jalan dan cuaca.

#### 3. Kondisi Medan

Tiga kategori dari kondisi medan yang umumnya dikenal yaitu :

- a. Medan datar, semua kombinasi dari semua alinyemen horisontal, alinyemen vertikal dan kelandaian tidak menyebabkan kendaraan angkutan barang kehilangan kecepatan dan dapat mempertahankan kecepatan yang sama seperti kecepatan mobil penumpang.
- b. Medan bukit, semua kombinasi dari semua alinyemen horisontal, alinyemen vertikal dan kelandaian menyebabkan kendaraan angkutan barang kehilangan kecepatan mereka merayap untuk periode waktu yang panjang.
- c. Medan gunung, semua kombinasi dari semua alinyemen horisontal,

alinyemen vertikal dan kelandaian menyebabkan kendaraan angkutan barang merayap untuk periode yang cukup panjang dengan interval yang sering.

#### 4. Kondisi Lalulintas

Tiga kategori dari kondisi lalulintas jalan yang umumnya dikenal yaitu :

- a. Mobil penumpang, kendaraan yang terdaftar sebagai mobil penumpang dan kendaraan ringan lainnya seperti *van*, *pick up*, *jeep*.
- b. Kendaraan barang, kendaraan yang mempunyai lebih dari empat roda, dan umumnya digunakan untuk transportasi barang.
- c. Bus, kendaraan yang mempunyai lebih dari empat roda, dan umumnya digunakan untuk transportasi penumpang.

#### 5. Kondisi Pengendalian Lalulintas

Kondisi pengendalian lalulintas mempunyai pengaruh yang nyata pada kapasitas jalan, tingkat pelayanan dan arus jenuh. Bentuk pengendalian tipikal termasuk :

- a. Lampu lalulintas
- b. Rambu
- c. Marka berhenti

Rumus yang digunakan untuk menghitung kapasitas jalan perkotaan berdasarkan MKJI, 1997 adalah sebagai berikut :

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS}$$

dimana :

- |                  |   |
|------------------|---|
| C                | = Kapasitas (smp/jam)                       |
| C <sub>0</sub>   | = Kapasitas dasar (smp/jam)                 |
| FC <sub>w</sub>  | = Faktor penyesuaian lebar lajur lalulintas |
| FC <sub>SP</sub> | = Faktor penyesuaian pemisah arah           |
| FC <sub>SF</sub> | = Faktor penyesuaian hambatan samping       |
| FC <sub>CS</sub> | = Faktor penyesuaian ukuran kota            |

- Kapasitas dasar

Menurut buku Standar Desain Geometrik Jalan Perkotaan, yang dikeluarkan Dirjen Bina Marga, kapasitas dasar didefinisikan sebagai volume maksimum per jam yang dapat lewat suatu potongan lajur jalan (untuk jalan multi lajur) atau suatu potongan jalan (untuk jalan dua lajur) pada kondisi jalan dan arus lalulintas ideal.

Kondisi ideal terjadi bila :

- Lebar jalan tidak kurang dari 3,5 meter.
- Kebebasan lateral tidak kurang dari 1,75 meter.
- Standar geometrik baik.
- Hanya kendaraan ringan atau *light vehicle* (LV) yang menggunakan jalan.
- Tidak ada batas kecepatan.

Kapasitas jalan tergantung pada tipe jalan, jumlah lajur dan apakah jalan dipisahkan dengan pemisah fisik atau tidak, seperti yang ditunjukkan dalam tabel 2.6 berikut :

Tabel 2.11

Kapasitas Dasar Jalan Perkotaan

Tipe Jalan Kota	Kapasitas Dasar $C_0$ (smp/jam)	Keterangan
Empat lajur terbagi atau jalan satu arah	1650	per lajur
Empat lajur tak terbagi	1500	per lajur
Dua lajur tak terbagi	2900	Total dua arah

(Sumber : MKJI, 1997)

- Faktor penyesuaian lebar lajur lalulintas

Faktor penyesuaian lebar lajur lalulintas adalah seperti pada tabel 2.7 berikut ini :

Tabel 2.12

Penyesuaian Kapasitas Untuk Pengaruh Lebar Lajur Lalulintas Untuk Jalan Perkotaan ( $FC_w$ )

Tipe Jalan	Lebar Lajur Lalu Lintas Efektif $W_e$ (m)	$FC_w$
Empat lajur terbagi atau jalan satu arah	Per lajur	
	3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
	4,00	1,08
Empat lajur tak terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,95
	3,50	1,00
	3,75	1,05
	4,00	1,09
Dua lajur tak terbagi	Total lajur	
	5	0,56
	6	0,87
	7	1,00
	8	1,14
	9	1,25
	10	1,29
	11	1,34

(Sumber : MKJI, 1997)

- Faktor penyesuaian pemisah arah

Besarnya faktor penyesuaian untuk jalan tanpa penggunaan pemisah tergantung pada besarnya *split* kedua arah sebagai berikut :



Tabel 2.13

Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Pemisah Arah ( $FC_{SP}$ )

Pemisah Arah SP % - %		50 - 50	55 - 45	60 - 40	65 - 35	70 - 30
$FC_{SP}$	Dua lajur 2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat lajur 4/2	1,00	0,985	0,97	0,955	0,95

(Sumber : MKJI, 1997)

- Faktor penyesuaian hambatan samping
  - a. Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan lebar bahu

Tabel 2.14

Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Pengaruh Hambatan Samping dan Lebar Bahu ( $FC_{SF}$ ) Untuk Jalan Perkotaan dengan Bahu

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping (SFC)	Faktor Penyesuaian Untuk Hambatan Samping dan Lebar Bahu			
		Lebar Bahu Efektif Rata-Rata $W_s$ (m)			
		□ 0,5 m	1,0 m	1,5 m	□ 2 m
Empat lajur terbagi (4/2 D)	Sangat rendah	0,96	0,98	1,01	1,03
	Rendah	0,94	0,97	1,00	1,02
	Sedang	0,92	0,95	0,98	1,00
	Tinggi	0,88	0,92	0,95	0,98
	Sangat tinggi	0,84	0,88	0,92	0,96
Empat lajur tak terbagi (4/2 UD)	Sangat rendah	0,96	0,99	1,01	1,03
	Rendah	0,94	0,97	1,00	1,02
	Sedang	0,92	0,95	0,98	1,00
	Tinggi	0,87	0,91	0,94	0,98
	Sangat tinggi	0,80	0,86	0,90	0,95
Dua lajur tak terbagi atau jalan satu arah	Sangat rendah	0,94	0,96	0,99	1,01
	Rendah	0,92	0,94	0,97	1,00
	Sedang	0,89	0,92	0,95	0,89

	Tinggi	0,82	0,86	0,90	0,95
	Sangat tinggi	0,73	0,79	0,85	0,91

(Sumber : MKJI, 1997)

- b. Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan jarak kerb penghalang

Tabel 2.15

Faktor Penyesuaian Kapasitas Untuk Pengaruh Hambatan Samping dan Jarak Kerb Penghalang ( $FC_{SP}$ ) Untuk Jalan Perkotaan dengan Kerb

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping (SFC)	Faktor Penyesuaian Untuk Hambatan Samping dan Lebar Bahu			
		Lebar Bahu Efektif Rata-Rata $W_s$ (m)			
		□ 0,5 m	1,0 m	1,5 m	□ 2 m
Empat lajur terbagi (4/2 D)	Sangat rendah	0,95	0,97	0,99	1,01
	Rendah	0,94	0,96	0,98	1,00
	Sedang	0,91	0,93	0,95	0,98
	Tinggi	0,86	0,89	0,92	0,95
	Sangat tinggi	0,81	0,85	0,88	0,92
Empat lajur tak terbagi (4/2 UD)	Sangat rendah	0,95	0,97	0,99	1,01
	Rendah	0,93	0,95	0,97	1,00
	Sedang	0,90	0,92	0,95	0,97
	Tinggi	0,84	0,87	0,90	0,93
	Sangat tinggi	0,78	0,81	0,85	0,90
Dua lajur tak terbagi atau jalan satu arah	Sangat rendah	0,93	0,95	0,97	0,99
	Rendah	0,90	0,92	0,95	0,97
	Sedang	0,86	0,88	0,91	0,94
	Tinggi	0,78	0,81	0,84	0,88
	Sangat tinggi	0,68	0,72	0,77	0,82

(Sumber : MKJI, 1997)

- Faktor penyesuaian ukuran kota

Faktor penyesuaian ukuran kota adalah seperti pada tabel 2.11 berikut ini :

Tabel 2.16

Faktor Penyesuaian Ukuran Kota ( $FC_{CS}$ ) Untuk Jalan Perkotaan

Ukuran Kota (Juta Penduduk)	Faktor Penyesuaian Untuk Ukuran Kota
< 0,1	0,86
0,1 - 0,5	0,90
0,5 - 1,0	0,94
1,0 - 3,0	1,00
> 3,0	1,04

(Sumber : MKJI, 1997)

#### 2.2.6. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai arus (Q) terhadap kapasitas (C), digunakan sebagai faktor utama untuk menentukan tingkat kinerja dan segmen jalan (MKJI, 1997). Nilai DS menentukan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Nilai DS yaitu perbandingan antara volume dengan kapasitas. Perbandingan tersebut menunjukkan kepadatan lalu lintas dan kebebasan bagi kendaraan.

Bila  $DS < 0.75$  maka jalan tersebut masih layak, dan

Bila  $DS > 0.75$  maka jalan sudah tidak layak

Hubungan antar tingkat pelayanan dan kapasitas ditunjukkan berdasarkan persamaan berikut :

$$DS = \frac{Q}{C}$$

Q = VJP (volume jam perencanaan)

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS}$$

dimana :

Q = Volume lalu lintas

LHR = Lalu lintas harian

C = Kapasitas (smp/jam)

- $C_0$  = Kapasitas dasar (smp/jam)  
 $FC_w$  = Faktor penyesuaian lebar lajur lalulintas  
 $FC_{SP}$  = Faktor penyesuaian pemisah arah  
 $FC_{SF}$  = Faktor penyesuaian hambatan samping  
 $FC_{CS}$  = Faktor penyesuaian ukuran kota

Derajat kejenuhan dihitung dengan menggunakan arus dan kapasitas yang dinyatakan dalam smp/jam. DS juga digunakan untuk analisa perilaku lalulintas berupa kecepatan.

### 2.2.7. Kecepatan

MKJI, 1997 menggunakan kecepatan tempuh sebagai ukuran utama kinerja segmen jalan, karena mudah dimengerti, diukur dan merupakan masukan penting untuk biaya pemakaian jalan dalam analisa ekonomi. Kecepatan tempuh didefinisikan dalam MKJI, 1997 sebagai kecepatan rata-rata ruang dari kendaraan ringan (LV) sepanjang segmen jalan.

$$V = \frac{L}{TT}$$

dimana :

- $V$  = Kecepatan rata-rata ruang LV (km/jam)  
 $L$  = Panjang segmen (km)  
 $TT$  = Waktu rata-rata LV sepanjang segmen (jam)

## 2.3. PERENCANAAN GEOMETRIK

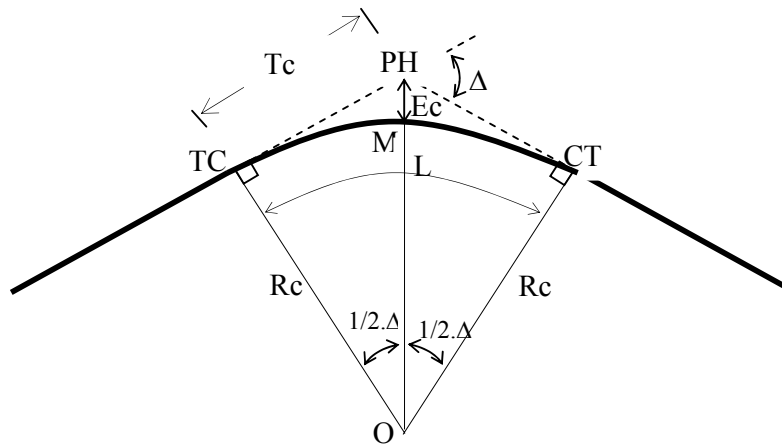
### 2.3.1. Alinyemen Horisontal

Alinyemen horisontal merupakan proyeksi sumbu jalan tegak lurus bidang horisontal yang terdiri dari susunan garis lurus (*tangent*) dan garis lengkung (busur lingkaran, spiral). Bagian lengkung merupakan bagian yang perlu mendapat perhatian karena pada bagian tersebut dapat terjadi gaya sentrifugal yang cenderung melemparkan kendaraan keluar. Pada bagian antara garis lurus dan garis lengkung suatu peralihan. Dengan adanya lengkung peralihan, perubahan antara bagian yang lurus dan lengkung dapat dilakukan secara

berangsur-angsur. Bila peralihan tersebut dihilangkan, maka bagian yang lurus langsung menyambung dengan lengkung sehingga terdapat badan jalan yang tidak nyaman. Ada tiga macam lengkung pada perencanaan alinyemen horisontal yaitu :

a. Full circle

Pada umumnya tipe tikungan ini dipakai pada daerah dataran, tetapi juga tergantung pada besarnya kecepatan rencana dan radius tikungan.



Gambar 2.1. Tikungan *Full Circle*

$$T_c = R_c \times \tan \frac{1}{2} \Delta$$

$$E_c = R_c \times (\sec \frac{1}{2} \Delta - 1) = T_c \times \tan \frac{1}{2} \Delta$$

$$L_c = \frac{\Delta}{360} \times 2 \pi R_c = 0,01745 \times \Delta \times R_c$$

dimana :

PH : Perpotongan Horisontal.

$\Delta$  : Sudut perpotongan ( $^{\circ}$ ).

TC : Titik peralihan dari bentuk tangen ke bentuk busur lingkaran (*circle*)

CT : Titik peralihan dari bentuk busur lingkaran (*circle*) ke bentuk tangen.

$R_c$  : Jari-jari *circle* (m).

$T_c$  : Jarak dari titik TC ke PH (m).

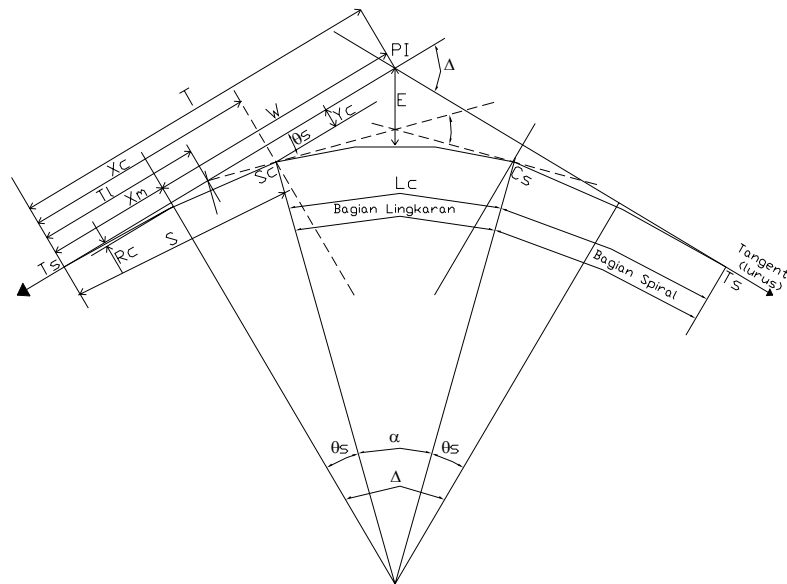
$E_c$  : Jarak antara titik PH dan busur lingkaran.

$L_c$  : Panjang busur lingkaran (m).

b. Spiral-Circle-Spiral

Pada tikungan jenis ini dari arah *tangent* ke arah *circle* memiliki spiral yang merupakan transisi dari bagian luar ke bagian *circle*. Adanya lengkung spiral adalah lengkung transisi pada alinyemen horisontal. Lengkung spiral sebagai pengantar dari kondisi lurus ke lengkung penuh secara berangsur-angsur. Pada bagian ini terjadi gaya sentrifugal dari 0 sampai dengan maksimum sewaktu kendaraan memasuki dan meninggalkan lengkung.

Rumus – rumus yang digunakan :



Gambar 2.2. Tikungan *Spiral Circle Spiral*

$$T_c = (R_c + p) \times \tan \frac{1}{2} \Delta + k$$

$$E = \left\{ \frac{(R_c + P)}{\cos \frac{1}{2} \Delta} \right\} - R_c$$

$$L_c = (\Delta - 2 \theta_s) \pi R_c / 180$$

$$L_t = 2 L_s + L_c \leq 2 T_s$$

$\theta_s$  : sudut spiral

$T_s$  : titik peralihan dari bagian lurus ke spiral

$p = R_c$  : jarak dari lingkaran busur tergeser dengan garis *tangent*

$k = x_m$  : jarak dari TS ke titik proyeksi pusat lingkaran pada *tangent*



Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan tikungan pada alinyemen horizontal :

#### 2.2.1. Superelevasi

Superelevasi adalah suatu kemiringan melintang ditikungan yang berfungsi mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima kendaraan pada saat berjalan melalui tikungan pada kecepatan berencana

Faktor yang mempengaruhi :

- Kondisi Cuaca ( Sering hujan, Berkabut, Salju )  
Superelevasi pada daerah yang sering bercuaca jelek < daerah sering bercuaca baik
- Kondisi Lapangan atau Medan ( Datar, Berbukit, Pegunungan )  
Superelevasi medan datar > Pegunungan
- Keadaan atau Tipe Daerah ( Perkotaan –Urban atau Luar Kota )
- Sering tidaknya terdapat kendaraan yang berjalan lambat

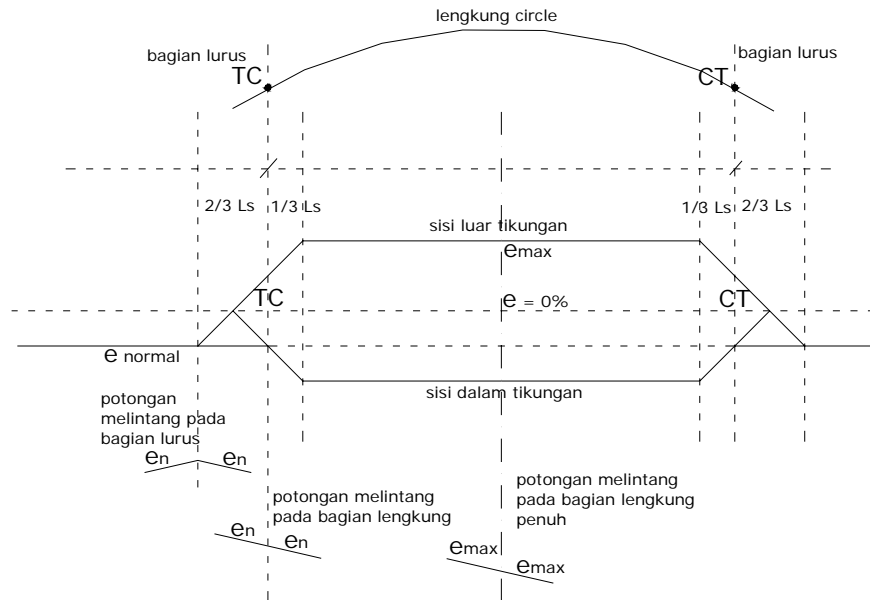
Harga Superelevasi (e) yang dianjurkan :

- e = 8%. Daerah yang licin, sering hujan, berkabut
- e = 4-6%. Daerah perkotaan, sering terjadi kemacetan
- e = rendah atau tanpa e. Daerah persimpangan



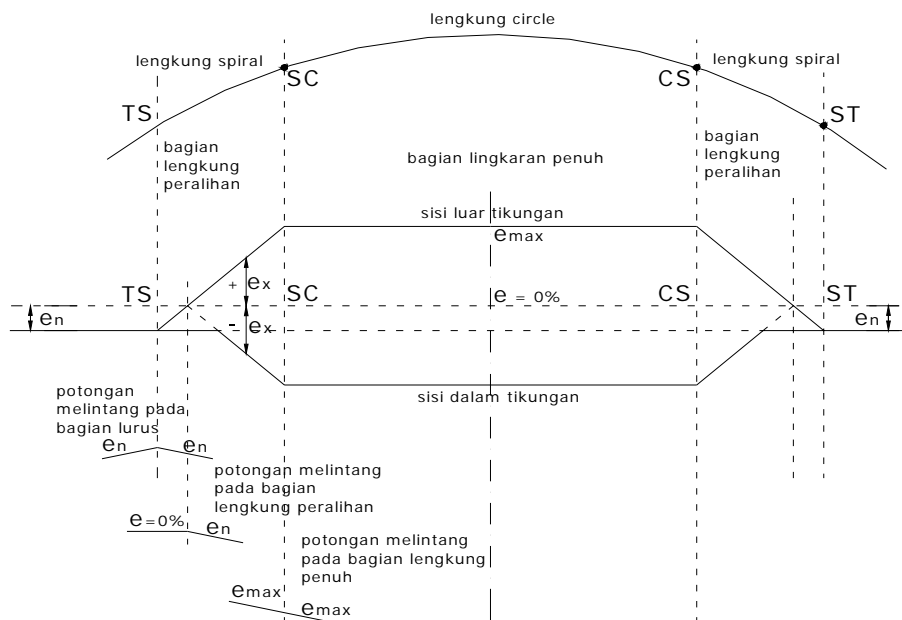
Diagram Superelevasi :

a. Tikungan Full Circle



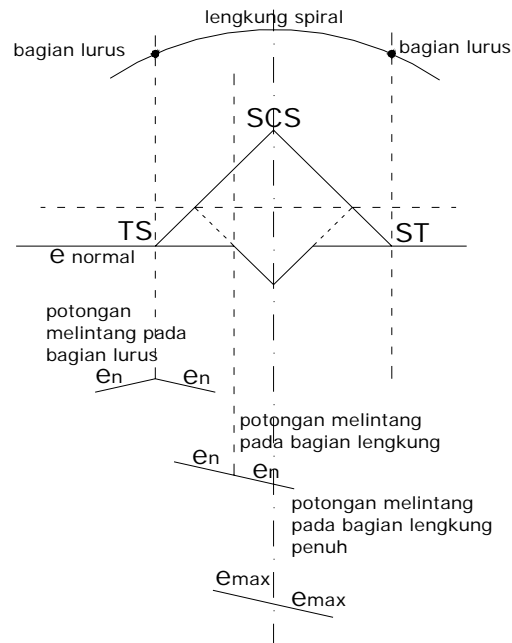
Gambar 2.4. Superelevasi tikungan *Full Circle*

b. Tikungan Spiral-Circle-Spiral



Gambar 2.6. Superelevasi tikungan *Spiral-Circle-Spiral*

### c. Tikungan Spiral-Spiral



Gambar 2.7. Superelevasi tikungan *Spiral-Spiral*

### 2.2.2. Jari-jari tikungan

Jari-jari tikungan minimum (  $R_{min}$  ) ditetapkan berikut :

$$R_{min} = \frac{V_R^2}{127 (e_{maks} + f_{maks})}$$

Dimana :

$R_{min}$  = Jari-jari tikungan minimum ( m )

$V_R$  = Kecepatan rencana ( km/jam )

$e_{maks}$  = Superelevasi maksimum ( % )

$f_{maks}$  = Koefisien gesek maksimum

Secara praktis panjang jari-jari dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.17

Panjang Jari-jari Minimum

Kecepatan Rencana ( km/jam )	Jari-jari Minimum ( m )	
	Jalan Tipe I	Jalan Tipe II
100	380	460

80	230	280
60	120	150
50	80	100
40		60
30		30
20		15

( *Standar Perencanaan Geometri Jalan, 1992* )

### 3. Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan adalah lengkung yang disisipkan antara bagian lurus jalan dan bagian lengkung jalan. Lengkung peralihan berfungsi mengantisipasi perubahan gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan pada saat berjalan di tikungan secara berangsur-angsur.

Tabel 2.18

Panjang Minimum Lengkung Peralihan

Kecepatan Rencana ( km/jam )	Panjang Minimum Lengkung Peralihan
100	85
80	70
60	50
50	40
40	25
30	25
20	20

( *Standar Perencanaan Geometri Jalan, 1992* )

#### 2.3.2. Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal merupakan suatu garis yang dibentuk bidang vertikal melalui sumbu jalan yang menggambarkan elevasi permukaan jalan sehingga dapat menambah keamanan dan kenyamanan pemakai jalan. Alinyemen vertikal menyatakan bentuk geometri jalan dalam arah vertikal. Panjang kelandaian lengkung vertikal dapat dihitung dengan menggunakan grafik panjang minimum

lengkung vertikal cembung dan panjang lengkung vertikal cekung berdasarkan kecepatan rencana pada Standar Perencanaan Geometri Jalan 1992.

Perencanaan alinyemen vertikal dibagi menjadi dua bagian, yaitu (Standar Perencanaan Geometrik Jalan, 1992):

#### 1. Lengkung vertikal Cembung

Lengkung vertikal cembung dibuat dengan memperhatikan syarat-syarat :

- $L = \frac{(S^2 * A)}{100.(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \rightarrow (S < L)$
- $L = 2 * S - \frac{100 * (\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}{A} \rightarrow (S > L)$
- Berdasarkan syarat kenyamanan :  $L = \frac{AV^2}{399}$
- $L$  = jarak pandangan henti minimum

Dimana :  $L$  = panjang minimum lengkung vertikal

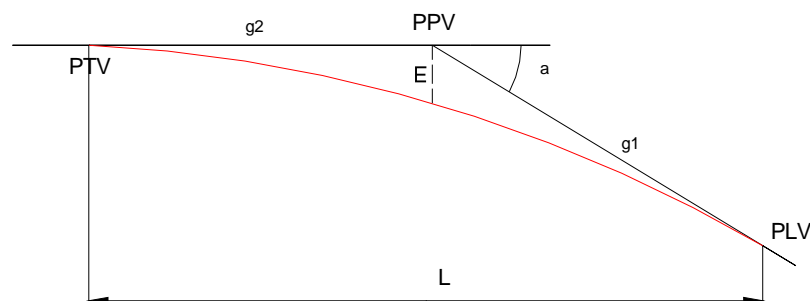
$S$  = jarak pandang berhenti

$A$  = perbedaan aljabar kedua landai ( $g_1 - g_2$ ) (%)

$h_1$  = tinggi mata pengemudi (1,20 m)

$h_2$  = tinggi penghalang (0,10 m)

$V$  = kecepatan rencana (km/jam)



Gambar 2.1 Lengkung Vertikal Cembung

Keterangan:

$L$  = Jarak minimum lengkung vertikal

PLV = Titik awal lengkung vertikal

PPV = Titik pertemuan kedua kelandaian

PTV = Titik akhir lengkung vertikal

E = Pergeseran vertikal

## 2. Lengkung Vertikal Cekung

Lengkung vertikal cekung dibuat dengan memperhatikan syarat-syarat :

Rumus yang digunakan :

- $L = \frac{(S^2 * A)}{(120 + 3,5 * S)} \rightarrow (S < L)$

- $L = 2 * S - \frac{(120 + 3,5 * S)}{A} \rightarrow (S > L)$

- Berdasarkan syarat kenyamanan :

$$L = \frac{AV^2}{390}$$

- L = jarak pandangan henti minimum

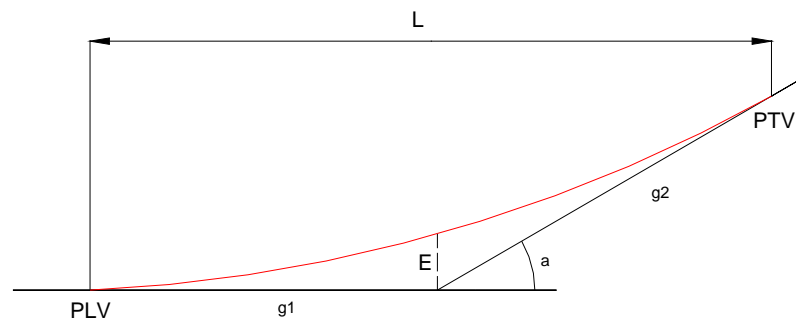
Dimana : L = panjang minimum lengkung vertikal

S = jarak pandang berhenti

A = perbedaan aljabar kedua landai ( $g_1 - g_2$ ) (%)

V = kecepatan rencana (km/jam)

$$E = \frac{A}{800} \times L ; E = \text{Pergeseran vertikal (m)}$$



Gambar 2.2 Lengkung Vertikal Cekung

Keterangan:

L = Jarak minimum lengkung vertikal

PLV = Titik awal lengkung vertikal

PPV = Titik pertemuan kedua kelandaian

PTV = Titik akhir lengkung vertikal

E = Pergeseran vertikal

Tabel 2.19 Kecepatan Rencana ( $V_R$ )

Kelas perencanaan		Kecepatan Rencana (km/jam)
Tipe - I	Kelas – 1	100, 80
	Kelas - 2	80, 60
Tipe - II	Kelas – 1	60
	Kelas – 2	60, 50
	Kelas – 3	40, 30
	Kelas – 4	30, 20

(Standar Perencanaan Geometrik Jalan, 1992)

Tabel 2. 20 Kecepatan Rencana ( $V_R$ )

Kecepatan rencana (km/jam)	Landai Maksimum (%)
100	3
80	4
60	5
50	6
40	7
30	8
20	9

(Standar Perencanaan Geometrik Jalan, 1992)

Tabel 2.21 Jarak Pandang Menyiap (JPM)

Kecepatan rencana (km/jam)	JPM Standar (m)	JPM Minimum (m)
80	550	350
60	350	250
50	250	200
40	200	150
30	150	100
20	100	70

(Standar Perencanaan Geometrik Jalan, 1992)

Tabel 2.22 Jarak Pandang Henti (JPH)

<b>Kecepatan rencana (km/jam)</b>	<b>Jarak Pandang Henti (m)</b>
100	165
80	110
60	75
50	55
40	40
30	30
20	20

(Standar Perencanaan Geometrik Jalan, 1992)

## 2.4 STRUKTUR PERKERASAN OPRIT JALAN LAYANG

Oprit merupakan bagian dari struktur jembatan layang yang menghubungkan konstruksi jalan layang dengan jalan raya di bawahnya. Struktur oprit memiliki ketebalan, kekuatan serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dengan lebih aman.

Perkerasan pada oprit menggunakan perkerasan lentur. Perkerasan ini menggunakan aspal sebagai bahan pengikat lapisan perkerasannya yang bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Perencanaan perkerasan lentur berpedoman pada Pedoman Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya No. 01/PD/8/1983 dan Petunjuk Tabel Perkerasan Lentur Jalan Raya.

Langkah perhitungan tebal perkerasan lentur adalah sebagai berikut :

1. Menghitung LHR setiap jenis kendaraan sesuai dengan umur rencana
2. Menghitung LEP (Lintas Ekuivalen Permulaan ) dengan rumus :

$$LEP = \sum LHR_j * C_j * E_j$$

3. Menghitung LEA (Lintas Ekuivalen Akhir) dengan rumus :

$$LEA = \sum LHR_j * (1 + i)^n * C_j * E_j$$

4. Menghitung LET ( Lintas Ekuivalen Tengah) dengan rumus :

$$LET = \frac{1}{2} (LEP + LEA)$$

5. Menghitung LER = LET \* UR/10

6. Menghitung ITP (Indeks Tebal Perkerasan) dari data grafik dengan metode analisa komponen
7. Menghitung tebal lapis perkerasan dengan menggunakan rumus  
$$ITP = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 + a_3 * D_3.$$



## 2.5 PERENCANAAN STRUKTUR

### 2.5.1. Klasifikasi Jembatan

Ditinjau dari sistem strukturnya maka jembatan dapat dibedakan menjadi:

#### 1. Jembatan Lengkung (*Arch bridge*)

Pelengkung adalah bentuk struktur non-linear yang mempunyai kemampuan sangat tinggi terhadap respon momen lengkung. Yang membedakan bentuk pelengkung dengan bentuk pelengkung dengan bentuk-bentuk lainnya adalah bahwa kedua perletakan ujungnya berupa sendi sehingga pada perletakan tidak diijinkan adanya pergerakan ke arah horisontal. Jembatan pelengkung banyak digunakan untuk menghubungkan tepian sungai atau ngarai dan dapat dibuat dengan bahan baja maupun beton. Jembatan lengkung merupakan salah satu bentuk yang paling indah diantara jembatan yang ada. Jembatan ini cocok digunakan pada bentang jembatan antara 60-80m

#### 2. Jembatan Gelagar (*Beam bridge*)

Jembatan bentuk gelagar terdiri dari lebih dari satu gelagar tunggal yang terbuat dari bahan beton, baja atau beton prategang. Jembatan dirangkai dengan diafragma, dan pada umumnya menyatu secara kaku dengan pelat yang merupakan lantai lalu lintas. Jembatan beton prategang menggunakan beton yang diberikan gaya prategang awal untuk mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban. Jembatan ini bisa menggunakan post-tensioning dan pre-tensioning. Pada post tensioning tendon prategang ditempatkan di dalam duct setelah beton mengeras. Pada pre tensioning beton dituang mengelilingi tendon prategang yang sudah ditegangkan terlebih dahulu. Jembatan ini cocok digunakan pada bentang jembatan antara 20 - 30 m, Tinggi pilar + 1/3 kedalaman pondasi melebihi 15 m

#### 3. Jembatan Kantilever

Jembatan kantilever memanfaatkan konstruksi jepit-bebas sebagai elemen pendukung lantai lalu lintas. Jembatan ini dibuat dari baja dengan struktur rangka maupun beton. Apabila pada jembatan baja kekakuan momen diperoleh dari gelagar menerus, pada beton jepit dapat tercipta dengan

membuat struktur yang *monolith* dengan pangkal jembatan. Salah satu kelebihan kantilever adalah bahwa selama proses pembuatan jembatan dapat dibangun menjauh dari pangkal atau pilar, tanpa dibutuhkannya perancah. Jembatan ini cocok digunakan pada bentang melebihi 80,00 meter ( $> 80 \text{ m}$ )

#### 4. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Sistem struktur jembatan gantung berupa kabel utama (*main Cable*) yang memikul kabel gantung. Kabel utama terikat pada angker diujung tower yang menyebabkan tower dalam keadaan tertekan. Perbedaan utama jembatan gantung terhadap *cable-stayed* adalah bahwa kabel tersebar merata sepanjang gelagar dan tidak membebani tower secara langsung. Jembatan jenis ini kabel tidak terikat pada tower. Jembatan ini cocok digunakan pada bentang jembatan melebihi 80,00 meter ( $> 80 \text{ m}$ )

#### 5. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*)

Jembatan rangka umumnya terbuat dari baja, dengan bentuk dasar berupa segitiga. Elemen rangka dianggap bersendi pada kedua ujungnya sehingga setiap batang hanya menerima gaya aksial tekan atau tarik saja. Jembatan rangka merupakan salah satu jenis jembatan tertua dan dapat dibuat dalam beragam variasi bentuk, sebagai gelagar sederhana, lengkung atau kantilever. Kekakuan struktur diperoleh dengan pemasangan batang diagonal. Jembatan ini cocok digunakan pada bentang jembatan antara 30 - 60 m.

#### 6. Jembatan Beton Bertulang

Jembatan beton bertulang menggunakan beton yang dicor di lokasi. Biasanya digunakan untuk jembatan dengan bentang pendek tidak lebih panjang dari 20 meter, daya dukung tanah dipermukaan  $q_u > 50 \text{ kg/cm}^2$  dan tinggi pilar +  $1/3$  kedalaman pondasi kurang dari 15 m.

### **Bangunan struktur atas pada umumnya terdiri dari :**

#### 1. Plat Lantai

Plat lantai berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan. Plat lantai dianggap ditumpu pada 2 sisi.

2. Trotoar

Konstruksi trotoir direncanakan dari plat beton yang diletakkan pada lantai jalan bagian samping. Diasumsikan plat tersebut tertumpu sederhana pada plat jalan.

3. Sandaran/*hand rail*

Sandaran merupakan pembatas antara kendaraan dengan pinggiran jalan layang, sehingga memberi rasa aman bagi pengguna jalan.

4. Balok Diafragma

Merupakan balok melintang non-struktural yang terletak diantara balok induk yang satu dengan yang lainnya. Konstruksi ini berfungsi menahan beban luar apapun, kecuali berat sendiri balok diafragma.

5. Balok Memanjang

Merupakan gelagar utama yang berfungsi menahan semua beban yang bekerja pada jembatan dan menyalurkannya pada tumpuan untuk diteruskan ke tanah dasar.

6. Tumpuan Jembatan

Tumpuan jembatan merupakan landasan bagi jembatan, dan penyalur beban dari gelagar atau pilar jembatan.

7. Oprit

Oprit merupakan bagian dari struktur jembatan layang yang menghubungkan konstruksi jalan layang dengan jalan raya di bawahnya. Struktur oprit memiliki ketebalan, kekuatan serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas diatasnya ke tanah dengan lebih aman.

8. Pelat injak

Pelat injak merupakan suatu pelat yang menghubungkan antara struktur jembatan dengan jalan raya. Pelat injak menumpu pada tepi *abutment* sebelah luar dan tanah urug di sebelah tepi lainnya.

**Bangunan struktur bawah pada umumnya terdiri dari :**

1. *Abutment*

2. Pilar (*pier*)

3. Pondasi

### 2.5.2. Pembebanan

Pembebanan didasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan dan Jalan Raya 1987 (PMJJR, 1987). Beban muatan yang bekerja terdiri dari beban primer dan beban sekunder.

#### 1. Beban Primer

Merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan yang terdiri dari :

##### a. Beban Mati

Yaitu semua beban yang berasal dari berat sendiri jalan layang

##### b. Beban Hidup

Yaitu semua beban yang berasal dari berat kendaraan yang bergerak atau lalu lintas yang dianggap bekerja pada jalan layang

##### • Beban T

Merupakan beban terpusat untuk lantai kendaraan yang digunakan untuk perhitungan kekuatan lantai jalan layang yang ditinjau pada 2 kondisi :

- Roda pada tengah pelat lantai (lebar jalur  $\leq 5,5$  m)
- 2 roda truk yang berdekatan dengan jarak 100 cm (lebar jalur  $> 5,5$  m).

##### • Beban D

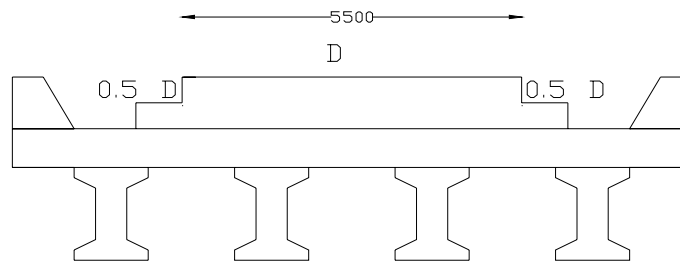
Beban D atau beban jalur untuk perhitungan kekuatan gelagar berupa beban terbagi rata sebesar “q” panjang per jalur dan beban garis “P” per jalur lalu lintas. Besar beban D ditentukan sebagai berikut :

$$Q = 2,2 \text{ t/m} \quad : \text{ untuk } L < 30 \text{ m}$$

$$Q = 2,2 \text{ t/m} - \frac{1,1}{60 * (L - 30)} \text{ t/m} \quad : \text{ untuk } 30 \text{ m} < L < 60 \text{ m}$$

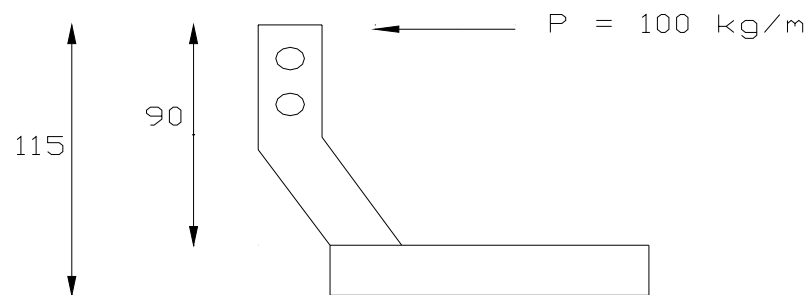
$$Q = 1,1 \left(1 - \frac{30}{L}\right) \text{ t/m} \quad : \text{ untuk } L > 60 \text{ m}$$

Misalnya lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,5 m, maka beban berlaku sepenuhnya pada jalur sebesar 5,5 m. Sedangkan lebar selebihnya hanya dibebani sebesar 50 % dari muatan D tersebut.



Gambar 2.3 Beban D Pada Lalu lintas Jembatan

- c. Beban pada trotoar, kerb, dan sandaran
- Trotoar diperhitungkan terhadap beban hidup sebesar  $500 \text{ kg/m}^2$ . Namun pada perhitungan gelagar hanya digunakan sebesar 60 % dari beban hidup trotoar.
  - Kerb diperhitungkan guna menahan beban horizontal kearah melintang jembatan  $500 \text{ kg/m}^2$ , bekerja pada puncak kerbatau setinggi 25 cm di atas permukaan lantai kendaraan bila tinggi kerb  $> 25 \text{ cm}$ .
  - Selain itu perlu diperhitungkan pula beban pada sandaran yaitu diperhitungkan untuk dapat menahan beban horizontal P sebesar  $100 \text{ kg/m}^2$  pada tinggi 90 cm dari atas lantai trotoir (115 cm di atas permukaan lantai kendaraan).



Gambar 2.4 Beban Pada Sandaran

- d. Beban Kejut
- Beban Kejut diakibatkan oleh getaran dan pengaruh dinamis lainnya. Tegangan akibat beban garis “P” harus dikalikan koefisien kejut sebesar

$$K = 1 + \frac{20}{50 + L}$$

Dimana :

K = Koefisien kejut

L = Panjang bentang jalan (m)

## 2. Beban Sekunder

Beban sekunder terdiri dari :

### a. Gaya Rem

Pengaruh gaya-gaya dalam arah memanjang jembatan akibat gaya rem harus ditinjau. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan pengaruh gaya rem sebesar 5 % dari beban D tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua jalur lalu lintas yang ada dan dalam satu jurusan yang bekerja dalam arah horizontal sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,00 m di atas permukaan lantai kendaraan.

### b. Gaya Akibat Gempa Bumi

Jembatan atau jalan yang dibangun di daerah-daerah dimana diperkirakan terjadi pengaruh-pengaruh gempa bumi harus direncanakan dengan menghitung pengaruh-pengaruh gempa bumi tersebut.

### c. Beban Angin

Beban angin diperhitungkan sebesar  $150 \text{ kg/m}^2$ , pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya angin horizontal terbagi rata pada bidang vertikal jalan layang dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan layang.

### d. Gaya akibat gesekan akibat tumpuan bergerak

Ditinjau terhadap gaya akibat gesekan pada tumpuan bergerak, karena adanya pemuaian yang timbul akibat adanya gaya gesekan, dan perbedaan suhu.

## 3. Kombinasi Pembebanan

Konstruksi jembatan layang harus ditinjau berdasarkan pada kombinasi pembebanan dan gaya yang mungkin bekerja.

Tabel 2.23 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan dan Gaya	Tegangan Yang Digunakan Terhadap Tegangan Ijin
1. $M + (H+K) + Ta + Tu$	100 %
2. $M + Ta + Ah + Gg + A + SR + Tm$	125 %
3. Komb. 1 + $Rm + Gg + A + SR + Tm + S$	140 %
4. $M + Gh + Tag + Cg + Ahg + Tu$	150 %
5. $M + P1 \rightarrow$ Khusus Jemb. Baja	130 %
6. $M + (H + K) + Ta + S + Tb$	150 %

Keterangan :

A = Beban Angin

Ah = Gaya akibat aliran dan hanyutan

Ahg = Gaya akibat aliran dan hanyutan waktu gempa

Gg = Gaya gesek pada tumpuan bergerak

Gh = Gaya horizontal ekivalen akibat gempa

(H+K) = Beban hidup dan kejut

M = Beban mati

P1 = Gaya pada waktu pelaksanaan

Rm = Gaya rem

S = Gaya sentrifugal

SR = Gaya akibat susut dan rangkai

Tm = Gaya akibat perubahan suhu ( selain susut dan rangkai)

Ta = Gaya tekanan tanah

Tag = Gaya tekanan tanah akibat gempa bumi

Tu = Gaya angkat

### 2.5.3. Perhitungan Struktur Atas

Struktur atas merupakan struktur yang terletak di atas bangunan bawah jalan layang. Masing-masing dari perhitungan struktur atas adalah sebagai berikut.

#### 2.5.3.1. Pelat Lantai

Berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan dan pembagi beban kepada gelagar utama. Pembebanan pada pelat lantai:

1. Beban mati berupa pelat sendiri, berat *pavement* dan berat air hujan.
2. Beban hidup seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Adapun panjang dan lebar dari pelat lantai disesuaikan dengan panjang bentang dan jarak antar gelagar utama. Perhitungan pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu pelat lantai pada bagian tengah dan pelat lantai pada bagian tepi. Prosedur perhitungan pelat lantai adalah sebagai berikut (Menghitung Beton Bertulang berdasarkan SNI 1992, Ir.Udiyanto):

##### 1. Tebal Pelat Lantai

Tebal pelat lantai adalah sama dengan perhitungan pada beton bertulang, dengan tebal  $h_{\min}$  yang digunakan adalah = 20 cm.

##### 2. Perhitungan Momen

- Untuk beban mati

$$M_{xm} = 1/10 * l x^2 \quad ; \quad M_{ym} = 1/3 * M_{xm}$$

- Untuk beban hidup

$$\frac{tx}{lx} \rightarrow \text{dengan Tabel Bitnerr didapat } f_{xm}$$

$$\frac{ty}{ly} = \frac{ty}{lx} \rightarrow \text{dengan Tabel Bitnerr didapat } f_{ym}$$

$$M_{xm} = f_{xm} * \frac{T}{x.y} * \text{luas bidang kontak}$$

$$M_{ym} = f_{ym} * \frac{T}{x.y} * \text{luas bidang kontak}$$

$$M_{x \text{ total}} = M_{xm \text{ beban mati}} + M_{xm \text{ beban hidup}}$$

$$M_{y \text{ total}} = M_{ym \text{ beban mati}} + M_{ym \text{ beban hidup}}$$

$$3. \text{ Perhitungan penulangan } Ru = \frac{M_{x.y \text{ total}}}{0,8 * b * dx^2}$$



$$M = \frac{f_y}{0,85 * f'c}$$

$$\rho = \frac{0,85 * f'c}{f_y} * (1 - \sqrt{1 - \frac{2Ru * M}{f_y}})$$

$$\rho_{\max} = 0,75 * \frac{\beta * 6000}{6000 + f_y} * \frac{Re}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

Jika  $\rho < \rho_{\min}$ , maka digunakan  $\rho_{\min}$

Jika  $\rho < \rho_{\max}$ , maka digunakan  $\rho_{\max}$

$$A_s = \rho * b * d$$

### 2.5.3.2. Sandaran

Adalah pembatas antara kendaraan dengan tepi jembatan untuk memberi rasa aman bagi pengguna jalan. Sandaran terdiri dari beberapa bagian, yaitu :railing sandaran, tiang sandaran dan parapet. Perhitungan dimensi dan penulangan digunakan rumus beto bertulang seperti berikut (Menghitung Beton Bertulang berdasarkan SNI 1992, Ir.Udiyanto):

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$K = \frac{M_n}{(b * d^2 * Rl)}$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K}$$

$$F_{\max} = \frac{\beta_1 * 450}{(6000 + f_y)} \quad ; \text{ satuan metrik}$$

Jika  $F > F_{\max}$ , maka digunakan tulangan dobel

Jika  $F \leq F_{\max}$ , maka digunakan tulangan *single underreinforced*

$$A_s = \frac{f * b * d * Rl}{f_y}$$

Check :

$$\rho_{\max} = \frac{\beta_1 * 450 / (600 + f_y)}{600 + f_y} \times \frac{R_l}{f_y} \quad ; \text{ satuan metrik}$$

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y} \quad ; \text{ satuan metrik}$$

$$\rho = A_s * b * d$$

Tulangan Geser :

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

$$V_c = 0,17 \sqrt{f'c} * b * d$$

Jika  $(V_n - V_c) \geq 2/3 * \sqrt{f'c} * b * d$  , maka penampang harus ditambah

Jika  $(V_n - V_c) < 2/3 * \sqrt{f'c} * b * d$  , maka penampang cukup.

Jika  $V_u < \frac{\phi * V_c}{2}$  , maka tidak perlu tulangan geser

Jika  $V_u \geq \frac{\phi * V_c}{2}$  , maka perlu tulangan geser

➤  $V_u < \Phi * V_c$ , maka perlu tulangan geser minimum

$$A_v = \frac{b * s}{3 * f_y}$$

$$s = \dots \leq d/2 \dots s \leq 600 \text{ mm}$$

➤  $V_u < \Phi * V_c$ , maka perlu tulangan geser sebagai berikut :

$$A_v = (V_n - V_c) \times \frac{s}{(d * f_y)}$$

$$s = \dots \leq d/2$$

$$s = \dots \leq d/4, \text{ bila } ((V_n - V_c) \geq 0,33 * \sqrt{f'c} * b * d$$

### 2.5.3.3.Diafragma

Berada melintang diantara gelagar utama, konstruksi ini berfungsi sebagai pengaku gelagar utama dan tidak berfungsi sebagai struktur penahan beban luar apapun kecuali berat sendiri diafragma. Menggunakan konstruksi beton bertulang.

### 2.5.3.4.Gelagar Jembatan

Merupakan gelagar utama yang berfungsi menahan semua beban yang bekerja pada struktur bangunan atas jembatan dan menyalurkannya pada tumpuan untuk disalurkan ke *pier*, pondasi dan dasar tanah. Pada studi pustaka ini hanya diuraikan gelagar utama dengan beton prategang.

Pada dasarnya beton prategang adalah suatu sistem dimana sebelum beban luar bekerja, diciptakan tegangan yang berlawanan tanda dengan tegangan yang nantinya akan terjadi akibat beban.

Beton prategang memberikan keuntungan-keuntungan namun juga memiliki kekurangan-kekurangan dibanding dengan konstruksi lainnya.

Keuntungan dari pemakaian beton prategang :

- Terhindar retak di daerah tarik, sehingga konstruksi lebih tahan terhadap korosi dan lebih kedap.
- Penampang struktur lebih kecil/langsing, karena seluruh penampang dapat dipakai secara efektif.
- Lendutan akhir yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang.
- Dapat dibuat konstruksi dengan bentangan yang panjang.
- Untuk bentang > 30 m dapat dibuat secara segmental sehingga mudah untuk transportasi dari pabrikasi ke lokasi proyek.
- Ketahanan terhadap geser dan puntir bertambah, akibat pengaruh prategang meningkat.
- Hampir tidak memerlukan perawatan dan
- Mempunyai nilai estetika.

Kerugian dari pemakaian beton bertulang :

- Konstruksi ini memerlukan pengawasan dan pelaksanaan dengan ketelitian yang tinggi.
- Untuk bentang > 40 m kesulitan pada saat *erection* karena bobot dan bahaya patah getaran.
- Membutuhkan teknologi tinggi dan canggih.
- Sangat sensitif dan peka terhadap pengaruh luar.

- Biaya awal tinggi.

Adapun parameter perencanaan girder beton prategang yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut.

#### **1. Sistem penegangan**

Secara desain struktur beton prategang mengalami proses prategang yang dipandang sebagai berat sendiri sehingga batang mengalami lenturan seperti balok pada kondisi awal. Cara umum penegangan beton *prestress* ada 2, yaitu:

- 1) *Pre-tensioning*, yaitu *stressing* dilakukan pada awal/sebelum beton mengeras.
- 2) *Post-tensioning*, yaitu *stressing* dilakukan pada akhir/setelah beton mengeras.

Secara umum perbedaan dari system penegangan diatas adalah :

***Pre-tensioning :***

- Tendon ditegangkan pada saat beton sebelum dicor.
- Tendon terikat pada konstruksi angker tanah.
- Transfer tegangan tekan dari tendon pada beton melalui lekatan (*bond*) antara tendon dengan beton.
- Layout tendon dapat dibuat lurus atau patahan.

***Post-tensioning :***

- Beton dicor seelum tendon ditegangkan.
- Ada duct untuk penempatan tendon dalam beton.
- Transfer teangan tekan dari tendon pada beton melalui penjangkaran (angker).
- Layout tendon dapat dibuat lurus atau parabola.

**2. Tegangan yang diijinkan**

a. Keadaan awal

Keadaan dimana beban luar belum bekerja dan teangan yan terjadi berasal dari gaya prategang dan berat sendiri.

$f'_{ci}$  = Tegangan karakteristik beton saat awal (Mpa)

$f_{ci}$  = Tegangan ijin tekan beton saat awal =  $+ 0,6 \cdot f'_{ci}$

$f_{ti}$  = Tegangan ijin tarik beton saat awal =  $- 0,5 \cdot \sqrt{f'_{ci}}$

b. Keadaan akhir

Keadaan dimana beban luar telah bekerja, serta gaya prategang bekerja untuk mengimbangi tegangan akibat beban.

$f'_c$  = Tegangan karakteristik beton saat akhir (Mpa)

$f_c$  = Tegangan ijin tekan beton saat akhir =  $+ 0,45 \cdot f'_c$

$f_t$  = Tegangan ijin tarik beton saat akhir =  $- 0,5 \cdot \sqrt{f'_c}$

### 3. Perhitungan pembebanan

Yaitu beban-beban yang bekerja antara lain beban mati, beban hidup, dan beban-beban lainnya sesuai dengan PPJJR 1987 seperti yang telah diuraikan diatas.

### 4. Perencanaan dimensi penampang

$$R = 0,85$$

$$S_t = \frac{ML + (1 - R) * M_D}{f_c + R * f_{ti}}$$

$$S_b = \frac{ML + (1 - R) * M_D}{f_c + R * f_{ci}}$$

$$\frac{y_b}{h} = \frac{S_t}{S_t + S_b}$$

$$\frac{y_t}{h} = \frac{S_b}{S_t + S_b}$$

dengan tabel T.Y Lin Ned – H.Burns didapat luasan penampang dan dimensi dengan cara coba-coba.

### 5. Perencanaan tegangan penampang

Perencanaan penampang dibuat *full prestressing* dimana pada penampang tidak diijinkan adanya tegangan tarik. Hal ini memaksimalkan fungsi dari beton prategang dan strans tendon.

a. Keadaan awal

$$f_{top} \leq f_{ti} \quad \text{dan} \quad f_{bott} \leq f_{ci} \quad \text{atau}$$

$$f_{top} = 0 \quad \text{dan} \quad f_{bott} \leq f_{ci}$$

b. Keadaan akhir

$$f_{top} \leq f_c \quad \text{dan} \quad f_{bott} \leq f_t \quad \text{atau}$$

$$f_{top} \leq f_c \quad \text{dan} \quad f_{bott} = 0$$

Dengan  $e$  dan  $M_D$  pada penampang kritis :

a. Kondisi awal

$$f_{top} = \frac{T_i}{A_c} - \frac{T_i * e}{S_t} + \frac{M_D}{S_t} \leq -f_{ti}$$

$$f_{bott} = \frac{T_i}{A_c} + \frac{T_i * e}{Sb} - \frac{M_D}{Sb} \leq f_{ci}$$

b. Kondisi akhir

$$f_{top} = \frac{R * T_i}{A_c} - \frac{R * T_i * e}{S_t} + \frac{M_D + M_L}{S_t} \leq f_c$$

$$f_{bott} = \frac{R * T_i}{A_c} + \frac{R * T_i * e}{Sb} - \frac{M_D + M_L}{Sb} \leq -f_t$$

## 6. Layout Tendon Terhadap Analisa Penampang Kritis

Perhitungan yang disyaratkan :

$$f_{cgc} = \frac{T_i}{A}$$

a. Kondisi awal

Tegangan pada serat atas ;  $f_t = -f_{ti}$

$$e_1 = \frac{S_t}{T_i} (f_{ti} + f_{cgc}) + \frac{M_D}{T_i}$$

Tegangan pada serat bawah ;  $f_b = f_{ci}$

$$e_2 = \frac{Sb}{T_i} (f_{ci} + f_{cgc}) + \frac{M_D}{T_i}$$

b. Kondisi akhir

Tegangan pada serat atas ;  $f_t = f_c$

$$e_3 = \frac{S_t}{R * T_i} (-f_c + R * f_{cgc}) + \frac{M_D + M_L}{R * T_i}$$

Tegangan pada serat bawah ;  $f_b = -f_t$

$$e_4 = \frac{Sb}{R * T_i} (-f_t - R * f_{cgc}) + \frac{M_D + M_L}{R * T_i}$$

Didapat nilai  $e_l$  pada masing-masing tendon, plotkan dengan gambar berskala dan diperoleh layout tendon yang digunakan.

## 7. Pemilihan Tendon

Pemilihan jenis, diameter, jumlah *strands*, angker blok dan *duck* tendon pada beton prategang disesuaikan dengan bahan material yang ada dipasaran guna kemudahan pengadaan material, namun juga mampu menahan aya tarik maksimum tendon guna mendapatkan *tegangan ultimit* ( $R_{ti}$ ) sesuai dengan perencanaan untuk dapat mempertahankan gaya tarik tersebut.

## 8. End Block

- Propertis penampang
- Tegangan *Bearing Zone*

Keadaan awal :

$$\sigma'_{bi} = 0,8 \cdot f'_{ci} \cdot \sqrt{\frac{Ac}{Ab}} - 0,2 \leq 1,25 \cdot f'_{ci}$$

Keadaan akhir :

$$\sigma'_b = 0,6 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{Ac}{Ab}} \leq f'_c$$

dimana :  $Ab$  = luas bidang pelat angker ( $\text{mm}^2$ )

$Ac$  = luas bidang penyebaran ( $\text{mm}^2$ )

- Tegangan pada beton

$$\sigma_{bi} = \frac{T_i}{h_b \cdot b} \leq \sigma'_{bi} \quad \text{dan} \quad \sigma_b = \frac{T_i}{a \cdot b} \leq \sigma'_b$$

- *Burshing Force (R)*

$$\frac{h_b}{a} \leq 0,2 \rightarrow R = 0,3 \cdot T_i \cdot \left(1 - \frac{h_b}{a}\right)$$

$$\frac{h_b}{a} > 0,2 \rightarrow R = 0,2 \cdot T_i \cdot \left(1 - \frac{h_b}{a}\right)$$



$$n \cdot A_s \cdot f_y = R \dots\dots\dots n = \frac{a}{s}$$

$$A_s = \frac{R}{n \cdot f_y}$$

## 9. Perhitungan Geser

### a. Pola Retak karena Gaya Lintang (*Shear Compression Failure*)

$$V_{cw} = V_{cr} \cdot b_w \cdot d + V_T$$

$$V_{cr} = (0,33 \sqrt{f'_c}) \times \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33 \sqrt{f'_c}}}$$

Dimana :

$V_{cw}$  = gaya geser mengakibatkan *shear compression failure*

$V_{cr}$  = gaya geser hancur beton prategang

$f_{pc}$  = tegangan akibat prategang pada garis netral (kondisi akhir)

$b_w$  = lebar badan

$d$  = jarak dari cgs sampai serat teratas pada h/2

$V_T$  = komponen vertikal dari gaya prategang akhir  $T_e = \tan \alpha \cdot T_i$

$$\tan \alpha = \frac{2 \cdot e_0}{L} \rightarrow L = h/2$$

$e_0$  = eksentrisitas beton pada h/2

Geseran diperhitungkan ( $V_u$ ) pada jarak h/2 dari tumpuan.

Syarat :  $V_{cw} \geq V_u \dots\dots\dots$ Ok

### b. Pola Retak akibat Kombinasi Momen Lengkung dan Gaya Lintang (*Diagonal Tension Failure*)

$V_u = RA - q_x \rightarrow$  Gaya lintang yang terjadi pada L/4

$M = RA \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2 \rightarrow$  Momen yang terjadi pada L/4

dimana :  $f_{pe}$  = tegangan pada serat bawah pada L/4

$e$  = eksentrisitas tendon pada L/4

Momen retak akibat lentur murni :

$$M_{cr} = f_b * S_b \dots\dots f_b = f_{tr} + f_{pe} \dots\dots f_{tr} = 0,5 * \sqrt{f'_c}$$

$$f_{pe} = \frac{T_i}{A} + \frac{T_i * e}{S_b}$$

Gaya geser yang menyebabkan *flexure shear cracks* :

$$V_{ci} = 0,55 \sqrt{f'_c} * b_w * d + \frac{V}{M} * M_{cr}$$

Dimana :  $V = V_u$

$d$  = jarak cgs sampai serat teratas (mm)

$V_{ci} \geq V_u \dots\dots$  Penampang aman terhadap keretakan akibat geser dan momen lengkung.

#### c. Penulangan Geser

$$V_{max} = V_c + 0,8 \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

$$V_{min} = 0,5 V_c$$

$$V = V_c + 0,4 \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

$$V = V_c + 0,35 \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

$V_c = V_{cw}$  atau  $V_{ci}$  dipilih nilai yang terbesar

$V < V_{min} \dots\dots\dots$  diperlukan tulangan geser minimum

$V_{max} \geq V \dots\dots\dots$  penampang cukup untuk menahan geser

### 10. Perhitungan Lendutan

$$E = 4700 * \sqrt{f'_c}$$

a. Lendutan akibat berat sendiri balok

$$\delta_{bsb} = \frac{5.q_D.L^4}{384.EI}$$

b. Lendutan akibat beban hidup

$$\delta_{bh} = \frac{5.q_L.L^4}{384.EI}$$

c. Lendutan akibat gaya pratekan

Gaya pratekan awal

$$M = T_0 \cdot e \rightarrow T_0 = \frac{T_i}{0,85}$$

$$M = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 \rightarrow q = \frac{8 \cdot M}{L^2}$$

$$\delta_0 = \frac{5 \cdot q_D \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

d. Lendutan gaya pratekan efektif

$$M = T_i \cdot e$$

$$M = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 \rightarrow q = \frac{8 \cdot M}{L^2}$$

$$\delta_1 = \frac{5 \cdot q_D \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

$$\text{Lendutan ijin pada jembatan : } \delta_{ijin} \leq \frac{1}{360} \cdot L$$

$$\text{Check : } \delta_0 - \delta_{bsb} \leq \delta_{ijin} \quad \delta$$

$$\delta_1 - \delta_{bh} - \delta_{bsb} \leq \delta_{ijin}$$

## 11. Perhitungan Kehilangan Tegangan

**Bersumber pada beton:**

a. Perpendekan Elastis

$$\Delta \sigma_{si} = n \cdot \frac{F}{A}$$

$$F = (\text{Jumlah tendon} - 1) \times \frac{A_{tendon} \cdot \sigma}{\text{Jumlah tendon}} \rightarrow \sigma_{si} = \frac{T_i}{A}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\text{Kehilangan tegangan rata-rata} = \frac{\sum \Delta \sigma_{si}}{\text{Jumlah tendon}}$$

$$\% \text{ losses} = \frac{\text{Kehilangan tegangan rata-rata}}{\sigma_{si}}$$

b. Susut (*Sherinke*)

$$\Delta f_{sh} = E_s \cdot \epsilon_{sh} \rightarrow \epsilon_{sh} = k_s \cdot k_h \cdot \left( \frac{t}{35+t} \right) \cdot 0,51 \cdot 10^{-3}$$

dimana :  $t$  = usia beton dalam hari pada saat susut dihitung

$k_s$  = factor koreksi (pada tabel buku ajar kuliah)

$k_h$  = factor koreksi yang terkait dengan nilai  $k_s$

$$\% \text{ losses} = \frac{\Delta f_{sh}}{\sigma_{si}}$$

c. Rangkak (*Creep*)

Akibat beban tetap dan merupakan fungsi waktu.

$$\Delta f_{scr} = E_s \cdot \epsilon_{cr} \rightarrow \epsilon_{cr} = C_c \left( \frac{f_{ci}}{E_c} \right)$$

$$C_c = 3,5 k \left( 1,58 - \frac{H}{120} \right) \cdot t_i^{-0,118} \cdot \left( \frac{(t-t_i)^{0,6}}{10 + (t-t_i)^{0,6}} \right)$$

dimana :  $C_c$  = *Creep Coefficient*

$H$  = kelembaman relative dalam %

$K$  = koefisien

$t_i$  = usia beton pada saat transfer tegangan (hari)

$t$  = usia beton i saat rangkak dihitung (hari)

$$\% \text{ losses} = \frac{\Delta f_{scr}}{\sigma_{si}}$$

**Bersumber pada baja:**

## a. Relakssasi baja

Proses kehilangan tegangan tendon pada regangan tetap

$$\Delta f_{rel} = f_{si} \cdot \frac{\log(t)}{10} \left( \frac{f_{si}}{f_y} - 0,55 \right)$$

dimana :  $f_{si}$  = tegangan tendon akibat  $T_i$

$f_y$  = tegangan leleh baja

$K$  = koefisien

$t$  = usia beton saat relaksasi dihitung (hari)

$$\% \text{ losses} = \frac{\Delta f_{rel}}{\sigma_{si}}$$

- b. Angker slip (pada saat *Post-tension*)

$$\Delta f_{AS} = \frac{\Delta_A}{L} E_s$$

dimana :  $\Delta_A$  = besarnya angker slip (mm), biasa = 6 mm

$E_s$  = modulus elastisitas baja prategang (Mpa)

$L$  = panjang tendon (mm)

$$\% \text{ losses} = \frac{\Delta f_{AS}}{\sigma_{si}}$$

- c. Gelombang dan Geseran (pada saat *Post-tension*)

Kehilangan tegangan karena posisi tendon dalam *duct* yang tidak lurus, serta geseran antara tendon dengan *duct*.

$dP = \mu \cdot Pd \cdot \alpha + K \cdot Pd \cdot x \rightarrow$  kehilangan tegangan

$$P_B = P_A \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + K \cdot x)}$$

dimana :  $P_A$  = gaya prategang pada ujung jack (KN)

$P_B$  = gaya prategang setelah kehilangan tegangan (KN)

$X$  = panjang *duct* yang ditinjau (m)

$\mu$  = koefisien geseran tendon dan *duct*, tergantung jenis tendon dan *duct*

$K$  = koefisien gelombang (per meter)

$\alpha$  = sudut kelengkungan tendon

Catatan :

- Besarnya kehilangan tegangan beton sangat tergantung pada modulus elastisitas beton  $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$  (Mpa).
- Semakin tua usia beton, maka  $f'_c$  dan  $E_c$  semakin tinggi.
- Dengan demikian beton yang diberi gaya prategang pada usia dini, menderita kehilangan tegangan yang relative lebih besar.
- Kehilangan tegangan beton tidak tergantung pada sistem prategangnya.

#### 2.5.4. Bangunan Struktur Bawah

Bangunan struktur bawah sebagian besar merupakan struktur beton bertulang yang secara metode pelaksanaan dan perhitungan tidak jauh berbeda dengan bangunan struktur atas, secara umum bangunan struktur bawah adalah sebagai berikut :

##### 2.5.4.1. Pilar (*Pier*)

Pilar (*Pier*) berfungsi sebagai pembagi bentang jembatan dan sebagai pengantar beban-beban yang bekerja pada struktur atas dan menyalurkannya kepada pondasi dibawahnya. Pilar terbagi atas beberapa bagian *Pier head*, *Head wall* dan Kolom

Dalam mendesain pilar dilakukan dengan cara berikut :

- a. Menentukan bentuk dan dimensi rencana penampang pilar.
- b. Menentukan pembebanan yang terjadi pada pilar :
  - Beban mati berupa gelagar utama, lantai jembatan, diafragma, trotoar, perkerasan (*pavement*), sandaran, dan air hujan.
  - Beban hidup berupa beban merata dan beban garis.
  - Beban sekunder berupa beban gempa, rem dan traksi, serta koefisien kejut dan beban angin.
- c. Menghitung momen, gaya normal, dan gaya geser yang terjadi akibat kombinasi dari beban-beban yang bekerja.
- d. Menentukan mutu beton dan luasan tulangan yang digunakan serta cek apakah pilar cukup mampu menahan gaya-gaya tersebut.

##### 2.5.4.2. Abutment

Abutment merupakan struktur bawah jembatan yang berfungsi sama dengan pilar (*pier*) namun pada abutment juga terkait dengan adanya faktor tanah. Adapun langkah perencanaan abutment adalah sama dengan tahapan perencanaan pilaar (*pier*), namun pada pembebanannya ditambah dengan tekanan tanah timbunan dan ditinjau kestabilan terhadap sliding dan bidang runtuh tanahnya.

##### 2.5.4.3. Footing (*Pile-cap*)

*Footing* atau *Pile-cap* merupakan bangunan struktur yang berfungsi sebagai pemersatu rangkaian pondasi tiang pancang maupun *bore pile* (pondasi

dalam kelompok), sehingga diharapkan bila terjadi penurunan akibat beban yang bekerja diatasnya pondasi-pondasi tersebut akan mengalami penurunan secara bersamaan dan juga dapat memperkuat daya dukung pondasi tiang dalam tersebut.

#### 2.5.4.4. Pondasi

Untuk perencanaan suatu pondasi jembatan dan jalan dilakukan penyelidikan tanah untuk mengetahui daya dukung tanah (DDT) dasar setempat. Penyelidikan tanah secara umum dilakukan dengan cara boring dan sondir.

##### a. Tinjauan Analisa Tanah

Tinjauan analisa tanah yang digunakan

##### 1. *Standar Penetration Test*

$$N = 15 + \frac{1}{2} (N' - 15)$$

dimana :

N = Nilai SPT setelah dikoreksi

N' = Nilai SPT yang diukur dengan catatan percobaan  $N' > 15$

Tabel 2. 24 *Standar Penetration Test*

Tingkat Kepadatan	Dr	N	$\Phi$
Sangat lepas	< 0,2	< 4	< 30
Lepas	0,2 - 0,4	4-10	30 – 35
Agak padat	0,4 - 0,6	10-30	35 – 40
Padat	0,6 - 0,8	30 - 50	40 – 45
Sangat Padat	0,8 - 1,0	> 50	45

(Sumber : *Pondation Engineering*, Ralph.: 1973)

##### 2. *Sondir Test*

Penafsiran dengan menggunakan alat sondir dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 25 Penafsiran hasil penyelidikan tanah

Hasil Sondir (kg/cm <sup>2</sup> )		Klasifikasi
qc	Fs	
6	0,15 - 0,40	Humus, lempung sangat lunak

6 - 10	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat halus
	0,20 - 0,60	Lempung lembek kelanauan
10 - 30	0,10	Kerikil lepas
	0,10 - 0,40	Pasir lepas
	0,80 - 2,00	Lempung agak kenyal
30 - 60	1,50	Pasir kelanauan, agak padat
	1,00 - 3,00	Lempung kelanauan, agak kenyal
	3,00	Lempung kerikil kenyal
150 - 300	1,00 - 2,00	Pasir padat, kerikil, kasar, sangat padat

(Sumber : *Penetrometer and Soil Exploration*, Sanglerat : 1972)

### 3. *Dari hasil Boring Log*

Analisa dapat dilihat dari hasil boring log di lapangan (perlu diperhatikan letak kedalaman Muka Air Tanah).

Tabel 2.26. Klasifikasi Tanah-2

<b>N – Values (SPT)</b>	<b><i>Consistensy</i></b>
0 – 2	<i>Very soft</i>
2 – 4	<i>Soft</i>
4 – 8	<i>Medium soft</i>
8 – 16	<i>Stiff</i>
16 – 32	<i>Very Stiff</i>
> 32	<i>Hard</i>

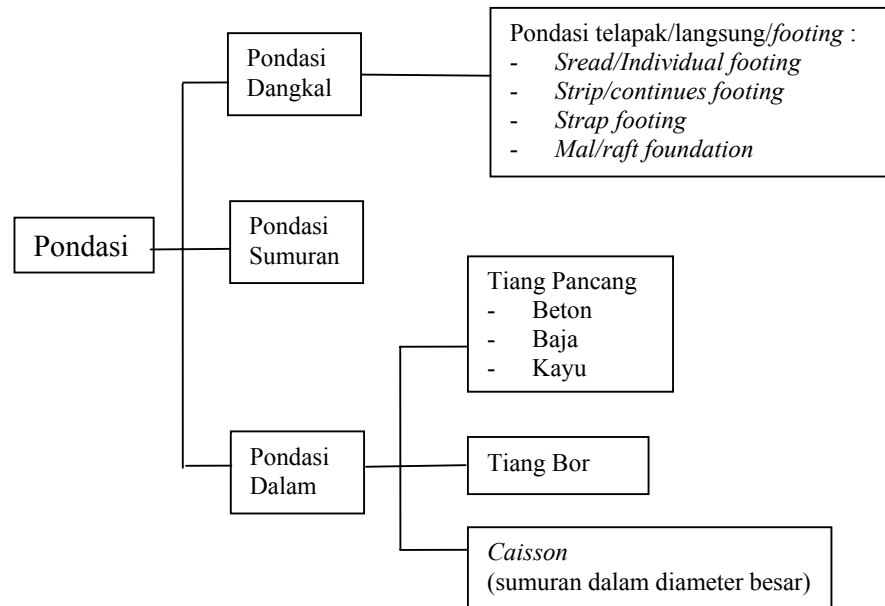
(Sumber: *Soil Mechanic and Fondation*, Punmia : 1981)

Dari ketiga analisa diatas dapat ditentukan jenis pondasi yang akan digunakan dan dapat pula diketahui kekuatan tanah berdasarkan jenis pondasi yang dipilih.



## b. Pemilihan Jenis Pondasi

Pemilihan jenis pondasi terlihat seperti pada bagan berikut.



Gambar 2.5. Pengelompokan Tipe Pondasi

### 1. Pondasi Dangkal

Kriteria desain pondasi dangkal :

- Termasuk pondasi dangkal ( $D/B < 4$ ).
- Digunakan apabila letak tanah baik (kapasitas dukung ijin  $> 2,0 \text{ kg/cm}^2$ ) relative dangkal (0,60 – 2,00 m).
- Diusahakan agar pada pilar tidak digunakan pondasi langsung dan apabila tidak dapat dihindari maka perlu struktur pengaman untuk melindungi pondasi.

### 2. Pondasi Sumuran

Kriteria desain pondasi sumuran :

- Termasuk pondasi sumuran ( $4 \leq D/B < 10$ ).
- Digunakan apabila beban yang bekerja cukup berat dan tanah keras relative dalam (daya dukung ijin tanah  $> 3 \text{ kg/cm}^2$ ).

- c. Jumlah sumuran tergantung dari beban yang bekerja, namun diameter sumuran  $\geq 3$  m agar pekerja dapat masuk ke lubang.
- d. Bila tanah pondasi berpasir penggalian harus hati-hati dan pengambilan tanah jangan sampai terbawa air tanahnya, hal ini untuk menghindari kelongsoran dan masuknya tanah dari luar.
- e. Penggalian harus sebaik mungkin (tidak seperti pada pondasi langsung) sehingga factor lekatan tanah tidak hilang.

### 3. Pondasi Dalam

Kriteria desain pondasi dalam :

- a. Termasuk pondasi dalam ( $D/B > 10$ ).
- b. Penggunaan alat khusus/berat seperti alat pancang dan alat bor dalam pelaksanaannya.

Pondasi dalam dapat berupa :

- a. Pondasi dalam dengan pile didesakkan ke dalam tanah.  
Pondasi tipe ini memakai pile berupa tiang pancang, sheet pile, dll. Pengerjaan pondasi tipe ini membutuhkan bantuan *crane* dan *hammer pile* untuk mendesakkan pile ke dalam tanah.
- b. Pondasi dalam dengan pile ditempatkan pada ruang yang telah disediakan dengan cara dibor (*bored pile*). Pondasi tipe ini membutuhkan mesin bor untuk membuat lubang dengan kedalaman rencana kemudian pile dirangkai.
- c. Pondasi *Caisson*  
Pondasi *caisson* merupakan bentuk dari pondasi sumuran dengan diameter yang relatif lebih besar.

Untuk lebih terperinci mengenai pondasi dalam, maka dianalisa secara seksama untuk tiang pancang dan *bored pile* sebagai pembanding dalam pemilihan jenis pondasi yang akan digunakan

#### A. Analisa dan Desain Pondasi Tiang Pancang

Adapun tinjauan perhitungan pondasi tiang pancang adalah :

1. Perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal

- a. Daya dukung terhadap kekuatan bahan

$$P_{tiang} = \sigma_b * A_{tiang} \rightarrow A_{tiang} = F_b + (n * F_e)$$

dimana :

$P_{tiang}$  = daya dukung ijin tiang pancang (kg)

$\sigma_b$  = Tegangan tekan karakteristik beton (kg/cm<sup>2</sup>)

$F_b$  = luas penampang tiang (cm<sup>2</sup>)

$F_e$  = jumlah luas tulangan yang digunakan (cm<sup>2</sup>)

$n$  = 15 (ketetapan)

- b. Daya dukung tiang terhadap kekuatan tanah

Akibat tahanan ujung (*end bearing*)

$$Q_{ult} = \frac{A_{tiang} * \rho}{3} \rightarrow A_{tiang} = F_b + (n * F_e)$$

dimana :  $Q_{ult}$  = daya dukung batas tiang (ton)

$\rho$  = harga konus tanah pada ujung tiang

2. Perhitungan daya dukung kelompok tiang (pile grup)

- a. Metode Dirjen Bina Marga DPU

$$Q_{it} = c \cdot N_c \cdot A + 2 (B + Y) L_c$$

dimana :

$Q_{it}$  = daya dukung tiang yang diijinkan (kg)

$c$  = kekuatan geser tanah rata-rata

$A$  = luas *pile cap* (m<sup>2</sup>)

$L_c$  = total cleef pada ujung tiang (kg/cm<sup>2</sup>)

$$N_c = (1 + 0,2 \frac{B}{\gamma}) N_{cs}$$

$N_{cs}$  dan  $N_c$  ..... Sesuai bentuk penampang pondasi

Daya dukung satu tiang dalam kelompok :

$$Q_{ult} = \frac{Q_i}{fk} > \frac{1}{Jumlah.tiang}$$

dimana :  $fk$  = faktor keamanan (umumnya = 3)

b. Metode *Uniform Building Code* (AASHTO)

$$Q_t = \eta \times Q_{tiang}$$

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{60} \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right) \rightarrow \theta = \arctg d/s$$

dimana :

$\eta$  = efisiensi *pile* grup

s = jarak antar tiang (2,5 – 3 d)

n = jarak tiang dalam satu baris

m = jumlah baris

d = diameter tiang

## c. Metode Feld

$$Q_t = \eta \times Q_{tiang}$$

Nilai efisiensi *pile* grup ( $\eta$ ) pada metode ini tergantung dari jumlah dan formasi letak dari susunan penempatan tiang pada footing.

3. Beban kelompok tiang yang menerima beban sentries dan momen bekerja pada dua arah (*Biaxial bending*)

$$P_{\max} = \frac{\Sigma P_v}{n} \pm \frac{M_x * Y_{\max}}{n_x * \Sigma y^2} \pm \frac{M_y * X_{\max}}{n_y * \Sigma x^2}$$

dimana :

$P_{\max}$  = Beban max yang diterima 1 tiang (tunggal)

$\Sigma P_v$  = Jumlah beban vertikal

$M_x$  = Momen arah x

$M_y$  = Momen arah y

$V_{\max}$  = jarak terjauh tiang ke pusat berat tiang

$n_x$  = Banyak tiang dalam satu baris arah x

$n_y$  = Banyak tiang dalam satu baris arah y

Cek :  $P_{\max} \leq P_{\text{eff}}$  ..... Aman

#### 4. Penulangan Tiang Pancang

Penulangan tiang pancang ditinjau berdasarkan kebutuhan pada waktu pengangkatan.

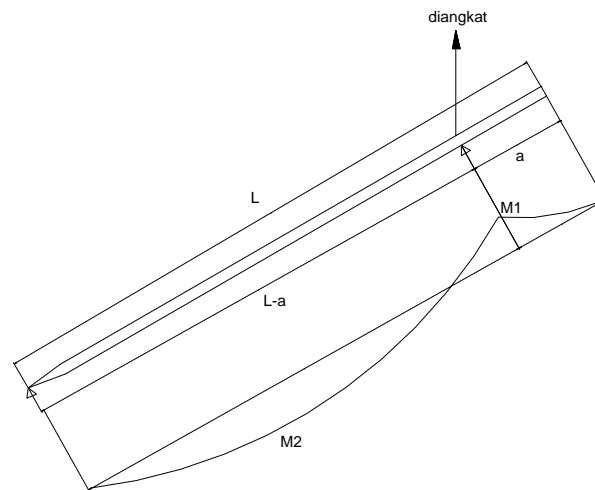
##### a. Kondisi 1 (Pengangkatan 1 titik)

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 ; M_{\max} = M_2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2(L - a)}$$

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2(L - a)}$$

$$2 \cdot a^2 - 4 \cdot a \cdot L + L^2 = 0 \rightarrow a = 0,29 L$$



Gambar 2.6 Pengangkatan Tiang Pancang 1 Titik

##### b. Kondisi 2 (Pengangkatan 2 titik)

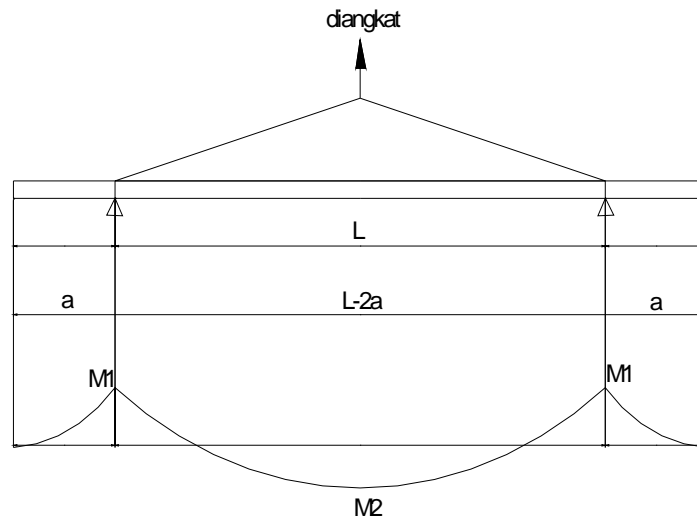
$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 \dots \dots \dots q = \text{berat tiang pancang}$$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot (L - 2a)^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot (L - 2a)^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$4 \cdot a^2 + 4 \cdot a \cdot L - L^2 = 0 \rightarrow a = 0,209 L$$



Gambar 2.7 Pengangkatan Tiang Pancang 2 Titik  
(Sumber : Pondasi Tiang Pancang, Ir. Sardjono HS).

Dari kedua model pengangkatan diatas dipilih Momen yang terbesar untuk perencanaan penulangan. Penulangan sama dengan perhitungan beton bertulang diatas.

**Check Tegangan yang Terjadi Pada Proses Pengangkatan :**

$$X = \frac{2n}{b} * A_t + \frac{2n}{b} \sqrt{A_t^2 + \frac{b}{2n} A_t h}$$

$$I_{x1} = 1/3 \cdot b \cdot X^3 ; I_{x2} = n \cdot A_t \cdot (X - d)^2 ; I_{x3} = n \cdot A_t \cdot (h - X)^2$$

$$W_d = \frac{I_{x1} + I_{x2} + I_{x3}}{X} ; W_e = \frac{I_{x1} + I_{x2} + I_{x3}}{n(h - X)}$$

$$\sigma_{beton} = \frac{M}{W_d} \leq \sigma'_{beton}$$

$$\sigma_{baja} = \frac{M}{W_d} \leq \sigma'_{baja}$$

## B. Analisa dan Desain Pondasi *Bored Pile*

Pemilihan pondasi *bored pile* pada perencanaan karena adanya bangunan lama dan kondisi situasi sosial dilingkungan setempat, sehingga faktor keamanan struktur dan kenyamanan pada masa pelaksanaan terpenuhi. Pondasi *bored pile* memiliki

kelebihan dan kekurangan bila dibandingkan dengan pondasi tiang pancang.

Kelebihan-kelebihan pondasi *bored pile* :

- a. Memerlukan lebih sedikit **penenman** ke dalam tanah karena dimensinya dapat diperbesar ( $d = 0,5 \text{ m} - 3,5 \text{ m}$ )
- b. Meniadakan getaran dan suara gaduh yang merupakan akibat dari pendorongan tiang pancang.
- c. Dapat menembus tanah keras dan kerakal karena bila menggunakan tiang pancang mengakibatkan bengkok.
- d. Lebih mudah memperluas bagian puncak sehingga memungkinkan momen-momen lentur yang lebih besar.
- e. Dapat meminimalisir kerusakan pada struktur bangunan lama akibat pengaruh dari pendorongan tiang pancang.
- f. Penulangan besi stek dari *bored pile* ke *footing* lebih baik karena menjadi satu kesatuan struktur yang utuh.

Kekurangan-kekurangan pondasi *bored pile* :

- a. Tidak dapat dipakai jika lapisan pendukung (*bearing stratum*) tidak cukup dekat dengan permukaan tanah (dengan menganggap tanah pada lapisan yang kompeten/mampu tidak dapat dandalkan untuk tahanan kulit).
- b. Keadaan cuaca yang buruk dapat mempersulit pengeboran dan atau pembetonan.
- c. Akan terjadi tanah runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan yaitu *casing*.
- d. Kualitas bored pile sangat tergantung pada ketelitian dan kesempurnaan dari proses pelaksanaan.

#### **A). Perhitungan Daya Dukung**

Pengelompokan bored pile terbagi atas 2 macam, yaitu :

- *Bored pile* diameter besar (*Large bored piles*) dengan nilai  $d > 600 \text{ mm}$ .

- Bored pile diameter normal (*Normal bored piles*) dengan nilai  $d \leq 600$  mm.

Perhitungan pada bored pile didasarkan pada 2 tinjauan, yaitu :

- *Base resistance*, yaitu kekuatan melawan *bored pile* pada bagian lapis atas *bored pile*.

$$P_u = 9.C_b.A_b$$

- *Shaft resistance*, yaitu kekuatan melawan *bored pile* pada bagian lapis bawah *bored pile*.

$$0,5 \cdot \pi \cdot d \cdot C_s \cdot L_s$$

Jadi daya dukung yang diijinkan pada pondasi *bored pile* :

$$P = \frac{(9.C_b.A_b) + (0,5\pi.d.C_s.L_s)}{F_k} - W$$

dimana :  $P$  = Daya dukung *bored pile* yang diijinkan

$C_b$  = Nilai kohesi tanah pada tanah lapis dasar

$A_b$  = Luas dasar bored pile

$d$  = Diameter pondasi

$L_s$  = Panjang/tinggi tanah lapis atas pada bored pile

$F_k$  = Faktor keamanan (0,5 – 4 tergantung tanah)

Bila pada bored pile hanya didasarkan atas *shaft friction* (*Shaft resistance*), maka besar  $F_k$  adalah 5 – 6

## B). Perhitungan Penulangan

Perhitungan penulangan pada *bored pile* menggunakan perhitungan beton bertulang yang sama dengan perhitungan diatas, namun perhitungan dilakukan terhadap 2 arah yaitu arah X dan arah Y serta perlu dihitung kestabilan terhadap daya dukung horizontal.



Cek terhadap gaya geser

- Beban desain terbagi rata :

$$q = \frac{N_{total}}{A}$$

- Gaya geser kritis :

$$V_u = q \cdot 9A - (b + d)^2$$

$$\phi V_c = 0,6(0,33\sqrt{f'c} \cdot b_0 \cdot d) \rightarrow b_0 = 4(b + d)$$

$$V_c > V_u \dots\dots\dots \text{Aman kuat terhadap geser}$$

Check daya dukung horizontal

$$K_p = \tan^2 \left[ 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right] - \tan \left[ 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right]$$

$$\text{Faktor Kekakuan pile (T)} = \sqrt[5]{\frac{E_i}{nh}}$$

dimana : E = Modulus elastisitas

I = momen inersia penampang

n<sub>h</sub> = Untuk tanah keras yang terendam (terzaghi)

$$\text{Modulus Elastisitas (E)} = 4700 \sqrt{f'c}$$

$$\text{Momen Inersia penampang} = \frac{1}{64} \pi D^4$$

$$\text{Grafik } Brooms \text{ didapat nilai : } \frac{H_u}{C_u \cdot B^2}, \text{ didapat } H_u$$

jika  $H < H_u \dots$  Aman terhadap gaya horisontal

### C). Perhitungan *Settlement*

Penurunan Konsolidasi

$$S = \frac{H * C_c}{1 + e_0} \log \frac{p_0 - \Delta p}{p_0}$$

dimana :

S = Settlement ;  $\Delta p$  = Tegangan akibat beban

C = Indeks Compression ;  $p_0$  = Tegangan awal

H = Lapisan ;  $e_0$  = Kadar Pori

## 2.6 STUDI TERKAIT

Banyak studi-studi sebelumnya yang pernah dilakukan terkait dengan simpang Jatingaleh, studi-studi tersebut membahas tentang bagaimana memecahkan permasalahan lalu lintas pada simpang Jatingaleh. Disini hanya akan dijelaskan tentang beberapa studi yang terkait dengan penyusunan Tugas Akhir ini. Studi-studi yang pernah dilakukan sebelumnya diantaranya adalah :

1. Studi yang dilakukan oleh Hary Aryfiyanto dan Ratih Adriani (2006)

Studi ini membahas tentang *Studi kelayakan simpang Jatingaleh Semarang*

Studi ini menghasilkan tiga alternatif solusi pemecahan permasalahan persimpangan yang dapat dilakukan yaitu :

- a) Solusi Pelebaran Ruas Jalan
- b) Solusi Pembangunan *Interchange*
- c) Solusi Pembangunan *flyover*

2. Studi yang dilakukan oleh Abdul Kholiq dan Ika Putri P (2004)

Studi ini membahas tentang *Evaluasi Kinerja Simpang Jatingaleh dan Pemecahannya*

Studi ini menghasilkan alternatif solusi pemecahan permasalahan persimpangan yang dapat dilakukan yaitu :

- a) Perbaikan geometri simpang (peningkatan ruas jalan/penambahan jumlah lajur/pelebaran ruas jalan)

Dalam Laporan Tugas Akhir ini, hasil analisa dari studi-studi tersebut akan dijadikan sebagai sumber bahan dalam perencanaan *Flyover* Jatingaleh.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini akan direncanakan tentang pembangunan *Flyover* dari solusi-solusi tersebut. Sehingga diakhir nanti dapat dijadikan pemecahan permasalahan lalu lintas pada simpang Jatingaleh.

